



HAL
open science

L'ordinateur comme outil d'aide à l'enseignement : une séquence didactique pour l'enseignement du repérage dans l'espace à l'aide de logiciels graphiques

Iman Osta

► To cite this version:

Iman Osta. L'ordinateur comme outil d'aide à l'enseignement : une séquence didactique pour l'enseignement du repérage dans l'espace à l'aide de logiciels graphiques. Modélisation et simulation. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1988. Français. NNT: . tel-00331291

HAL Id: tel-00331291

<https://theses.hal.science/tel-00331291>

Submitted on 16 Oct 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Joseph Fourier - Grenoble I

THESE

Présentée par

Iman Osta

pour obtenir le titre de Docteur de l'Université Joseph Fourier - Grenoble I
(arrêté ministériel du 5 juillet 1984)

mathématiques appliquées et informatique
didactique des mathématiques et de l'informatique

**L'ordinateur comme outil d'aide à l'enseignement
Une séquence didactique pour l'enseignement du
repérage dans l'espace à l'aide de logiciels graphiques**

Volume 1

soutenue le **19 octobre 1988** devant la commission d'examen :

président : François Robert
examineurs : Nicolas Balacheff
Madeleine Eberhard
Colette Laborde
Charles Payan
Annie Weill-Fassina
invités : Annie Bessot
Gérard Bomer

Thèse préparée au sein du Laboratoire Structures Discrètes et Didactique (IMAG)

UNIVERSITE Joseph FOURIER (GRENOBLE I)

Président de l'Université :
M. PAYAN Jean Jacques

Année Universitaire 1987 - 1988

MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE SCIENCES ET DE GEOGRAPHIE

PROFESSEURS DE 1ère Classe

ARNAUD Paul	Chimie Organique
ARVIEU ROBERT	Physique Nucléaire I.S.N.
AUBERT Guy	Physique C.N.R.S
AURIAULT Jean-Louis	Mécanique
AYANT Yves	Physique Approfondie
BARBIER Marie-Jeanne	Electrochimie
BARJON Robert	Physique Nucléaire ISN
BARNOUD Fernand	Biochimie Macromoléculaire Végétale
BARRA Jean-René	Statistiques-Mathématiques Appliquées
BECKER Pierre	Physique
BEGUIN Claude	Chimie Organique
BELORISKY Elie	Physique
BENZAKEN Claude	Mathématiques Pures
BERARD Pierre	Mathématiques Pures
BERNARD Alain	Mathématiques Pures
BERTRANDIAS Françoise	Mathématiques Pures
BERTRANDIAS Jean-Paul	Mathématiques Pures
BILLET Jean	Géographie
BOELHER Jean-Paul	Mécanique
BONNIER Jane Marie	Chimie Générale
BOUCHEZ Robert	Physique Nucléaire ISN
BRAVARD Yves	Géographie
CARLIER Georges	Biologie Végétale
CAUQUIS Georges	Chimie Organique
CHARDON Michel	Géographie
CHIBON Pierre	Biologie Animale
COHEN ADDAD Jean-Pierre	Physique
COLIN DE VERDIERE Yves	Mathématiques Pures
CYROT Michel	Physique du Solide
DEBELMAS Jacques	Géologie Générale
DEGRANGE Charles	Zoologie
DEMAILLY Jean-Pierre	Mathématiques Pures
DENEUVILLE Alain	Physique
DEPORTES Charles	Chimie Minérale
DOLIQUE Jean-Michel	Physique des Plasmas
DOUCE Roland	Physiologie Végétale
DUCROS Pierre	Cristallographie
FONTAINE Jean-Marc	Mathématiques Pures
GAGNAIRE Didier	Chimie Physique
GERMAIN Jean-Pierre	Mécanique,
GIRAUD Pierre	Géologie
HICTER Pierre	Chimie
IDELMAN Simon	Physiologie Animale
JANIN Bernard	Géographie
JOLY Jean-René	Mathématiques Pures
KAHANE André, détaché	Physique
KAHANE Josette	Physique
KRAKOWIAK Sacha	Mathématiques Appliquées

LAJZEROWICZ Jeanine
 LAJZEROWICZ Joseph
 LAURENT Pierre-Jean
 LEBRETON Alain
 DE LEIRIS Joël
 LHOMME Jean
 LLIBOUTRY Louis
 LOISEAUX Jean-Marie
 LUNA Domingo
 MACHE Régis
 MASCLE Georges
 MAYNARD Roger
 OMONT Alain
 OZENDA Paul
 PAYAN Jean-Jacques
 PEBAY-PEYROULA Jean-Claude
 PERRIER Guy
 PIERRARD Jean-Marie
 PIERRE Jean-Louis
 RENARD Michel
 RINAUDO Marguerite
 ROSSI André
 SAXOD Raymond
 SENDEL Philippe
 SERGERAERT Francis
 SOUCHIER Bernard
 SOUTIF Michel
 STUTZ Pierre
 TRILLING Laurent
 VALENTIN Jacques
 VAN CUTSEM Bernard
 VIALON Pierre

Physique
 Physique
 Mathématiques Appliquées
 Mathématiques Appliquées
 Biologie
 Chimie
 Géophysique
 Sciences Nucléaires I.S.N.
 Mathématiques Pures
 Physiologie Végétale
 Géologie
 Physique du Solide
 Astrophysique
 Botanique (Biologie Végétale)
 Mathématiques Pures
 Physique
 Géophysique
 Mécanique
 Chimie Organique
 Thermodynamique
 Chimie CERMAV
 Biologie
 Biologie Animale
 Biologie Animale
 Mathématiques Pures
 Biologie
 Physique
 Mécanique
 Mathématiques Appliquées
 Physique Nucléaire I.S.N.
 Mathématiques Appliquées
 Géologie

PROFESSEURS de 2^{ème} Classe

ADIBA Michel
 ANTOINE Pierre
 ARMAND Gilbert
 BARET Paul
 BLANCHI J.Pierre
 BLUM Jacques
 BOITET Christian
 BORNAREL Jean
 BRUANDET J.François
 BRUGAL Gérard
 BRUN Gilbert
 CASTAING Bernard
 CERFF Rudiger
 CHIARAMELLA Yves
 COURT Jean
 DUFRESNOY Alain
 GASPARD François
 GAUTRON René
 GENIES Eugène
 GIDON Maurice
 GIGNOUX Claude
 GILLARD Roland
 GIORNI Alain
 GONZALEZ SPRINBERG Gérardo
 GUIGO Maryse
 GUMUCHAIN Hervé
 GUITTON Jacques

Mathématiques Pures
 Géologie
 Géographie
 Chimie
 STAPS
 Mathématiques Appliquées
 Mathématiques Appliquées
 Physique
 Physique
 Biologie
 Biologie
 Physique
 Biologie
 Mathématiques Appliquées
 Chimie
 Mathématiques Pures
 Physique
 Chimie
 Chimie
 Géologie
 Sciences Nucléaires
 Mathématiques Pures
 Sciences Nucléaires
 Mathématiques Pures
 Géographie
 Géographie
 Chimie

HACQUES Gérard
HERBIN Jacky
HERAULT Jeanny
JARDON Pierre
JOSELEAU Jean-Paul
KERCKHOVE Claude
LONGEQUEUE Nicole
LUCAS Robert
MANDARON Paul
MARTINEZ Francis
NEMOZ Alain
OUDET Bruno
PECHER Arnaud
PELMONT Jean
PERRIN Claude
PFISTER Jean-Claude
PIBOULE Michel
RAYNAUD Hervé
RICHARD Jean-Marc
RIEDTMANN Christine
ROBERT Gilles
ROBERT Jean-Bernard
SARROT-REYNAULD Jean
SAYETAT Françoise
SERVE Denis
STOECKEL Frédéric
SCHOLL Pierre-Claude
SUBRA Robert
VALLADE Marcel
VIDAL Michel
VIVIAN Robert
VOTTERO Philippe

Mathématiques Appliquées
Géographie
Physique
Chimie
Biochimie
Géologie
Sciences Nucléaires I.S.N.
Physique
Biologie
Mathématiques Appliquées
Thermodynamique CNRS - CRTBT
Mathématiques Appliquées
Géologie
Biochimie
Sciences Nucléaires I.S.N.
Physique du Solide
Géologie
Mathématiques Appliquées
Physique
Mathématiques Pures
Mathématiques Pures
Chimie Physique
Géologie
Physique
Chimie
Physique
Mathématiques Appliquées
Chimie
Physique
Chimie Organique
Géographie
Chimie

MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE L' IUT 1

PROFESSEURS de 1^{ère} Classe

BUISSON Roger
DODU Jacques
NEGRE Robert
NOUGARET Marcel
PERARD Jacques

Physique IUT 1
Mécanique Appliquée IUT 1
Génie Civil IUT 1
Automatique IUT 1
EEA. IUT 1

PROFESSEURS de 2^{ème} classe

BOUTHINON Michel
CHAMBON René
CHEHIKIAN Alain
CHENAVAS Jean
CHOUTEAU Gérard
CONTE René
GOSSE Jean-Pierre
GROS Yves
KUH N Gérard, (Détaché)
MAZUER Jean
MICHOU LIER Jean
MONLLOR Christian
PEFFEN René
PERRAUD Robert
PIERRE Gérard
TERRIEZ Jean-Michel
TOUZAIN Philippe
VINCENDON Marc

EEA. IUT 1
Génie Mécanique IUT 1
EEA. IUT 1
Physique IUT 1
Physique IUT 1
Physique IUT 1
EEA.IUT 1
Physique IUT 1
Physique IUT 1
Physique IUT 1
Physique IUT 1
EEA.IUT 1
Métallurgie IUT 1
Chimie IUT 1
Chimie IUT 1
Génie Mécanique IUT 1
Chimie IUT 1
Chimie IUT 1

PROFESSEURS 2ème CLASSE

BACHELOT Yvan	Endocrinologie	C.H.R.G.
BARGE Michel	Neurochirurgie	C.H.R.G.
BENABID Alim Louis	Biophysique	Faculté La Merci
BENSA Jean-Claude	Immunologie	Hopital Sud
BERNARD Pierre	Gynécologie-Obstétrique	C.H.R.G.
BESSARD Germain	Pharmacologie	ABIDJAN
BOLLA Michel	Radiothérapie	C.H.R.G.
BOST Michel	Pédiatrie	C.H.R.G.
BOUCHARLAT Jacques	Psychiatrie Adultes	Hopital Sud
BRAMBILLA Christian	Pneumologie	C.H.R.G.
CHIROUSSEL Jean-Paul	Anatomie-Neurochirurgie	C.H.R.G.
COMET Michel	Biophysique	Faculté La Merci
CONTAMIN Charles	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire	C.H.R.G.
CORDONNIER Daniel	Néphrologie	C.H.R.G.
COULOMB Max	Radiologie	C.H.R.G.
CROUZET Guy	Radiologie	C.H.R.G.
DEBRU Jean-Luc	Médecine Interne et Toxicologie	C.H.R.G.
DEMONGEOT Jacques	Biostatistiques et Informatique Médicale	Faculté La Merci
DUPRE Alain	Chirurgie Générale	C.H.R.G.
DYON Jean-François	Chirurgie Infantile	C.H.R.G.
ETERRADOSSI Jacqueline	Physiologie	Faculté La Merci
FAURE Claude	Anatomie et Organogénèse	C.H.R.G.
FAURE Gilbert	Urologie	C.H.R.G.
FOURNET Jacques	Hépatogastro-entérologie	C.H.R.G.
FRANCO Alain	Médecine Interne	C.H.R.G.
GIRARDET Pierre	Anesthésiologie	C.H.R.G.
GUIDICELLI Henri	Chirurgie Générale et Vasculaire	C.H.R.G.
GUIGNIER Michel	Thérapeutique et Réanimation Médicale	C.H.R.G.
HADJIAN Arthur	Biochimie	Faculté La Merci
HALIMI Serge	Endocrinologie et Maladies Métaboliques	C.H.R.G.
HOSTEIN Jean	Hépatogastro-entérologie	C.H.R.G.
HUGONOT Robert	Médecine Interne	C.H.R.G.
JALBERT Pierre	Histologie-Cytogénétique	C.H.R.G.
JUNIEN-LAVILLAULOY Claude	O.R.L.	C.H.R.G.
KOLODIE Lucien	Hématologie Biologique	C.H.R.G.
LETOUBLON Christian	Chirurgie Générale	C.H.R.G.
MACHECOURT Jacques	Cardiologie et Maladies Vasculaires	C.H.R.G.
MAGNIN Robert	Hygiène	C.H.R.G.
MASSOT Christian	Médecine Interne	C.H.R.G.
MOUILLON Michel	Ophthalmologie	C.H.R.G.
PELLAT Jacques	Neurologie	C.H.R.G.
PHELIP Xavier	Rhumatologie	C.H.R.G.
RACINET Claude	Gynécologie-Obstétrique	Hopital Sud
RAMBAUD Pierre	Pédiatrie	C.H.R.G.
RAPHAEL Bernard	Stomatologie	C.H.R.G.
SCHAERER René	Cancérologie	C.H.R.G.
SEIGNEURIN Jean-Marie	Bactériologie-Virologie	Faculté La Merci
SELE Bernard	Cytogénétique	Faculté La Merci
SOTTO Jean-Jacques	Hématologie	C.H.R.G.
STOEBNER Pierre	Anatomie Pathologique	C.H.R.G.
VROUSOS Constantin	Radiothérapie	C.H.R.G.

Je voudrais tout d'abord exprimer ma profonde reconnaissance à Madame Colette Laborde qui a bien voulu diriger ma recherche. Je la remercie pour ses conseils bienveillants et enrichissants, pour sa patience et ses encouragements inestimables grâce auxquels ce travail a pu aboutir.

Je remercie Monsieur François Robert, Professeur à l'INPG, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance de cette thèse. L'intérêt et l'appréciation qu'il a prodigués à ce travail au cours de ses étapes finales m'ont permis de le terminer dans la confiance.

Je tiens à remercier également :

Monsieur Nicolas Balacheff, Directeur de recherche au CNRS,

Madame Madeleine Eberhard, Maître de conférence à l'Université Joseph Fourier,

Monsieur Charles Payan, Directeur de recherche au CNRS,

Madame Annie Weill-Fassina, Maître de conférence à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes,

pour avoir accepté de faire partie du jury de soutenance. Leurs remarques pertinentes, leurs critiques constructives et les questions qu'ils ont posées à ce travail lui ont permis un enrichissement et une ouverture sur d'autres perspectives.

Madame Annie Bessot a bien voulu enrichir le débat autour de cette recherche en répondant à notre invitation à participer au jury. Monsieur Gérard Bomer a tenu, malgré l'empêchement, à rédiger un rapport témoignant de l'intérêt qu'il porte à ce travail. Je tiens à les en remercier.

Je remercie Monsieur Gérard Vergnaud pour l'intérêt qu'il a porté à cette thèse, intérêt qu'il a souligné par ses remarques pertinentes .

Je tiens à remercier également Madame Régine Douady qui s'est intéressée à cette recherche et lui a inspiré une orientation plus riche. Les discussions fructueuses que nous avons eues dans une ambiance amicale et accueillante ont été pour moi d'un grand intérêt.

En pensant aux étapes de réalisation de ce travail, je ne peux oublier la participation active et l'aide précieuse que m'ont accordées les membres de l'Equipe de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique de Grenoble. Je pense particulièrement à :

Annie Bessot et Madeleine Eberhard qui ont participé à la réalisation des expériences en classe. Leurs conseils et leurs propositions positives ont été de grande importance,

Monsieur Bernard Capponi qui m'a accueillie dans ses classes et dans l'atelier d'informatique dont il est responsable au collège du Vergeron; je le remercie pour sa disponibilité et son ouverture lors de la préparation des cours,

Mireille Dupraz, Michel Guillerault et Denise Grenier pour la lecture critique du document, pour les discussions et les remarques qui s'en sont suivies,

de même qu'à toutes les personnes qui ont participé aux observations en classe.

Qu'ils reçoivent tous ici l'expression de ma gratitude.

Les moyens techniques du Laboratoire LSD ont permis à ce travail d'aboutir. Je remercie les membres de ce laboratoire pour les renseignements utiles lors des problèmes matériels que j'ai rencontrés.

Je remercie le service de reprographie de l'Institut IMAG pour le soin et la rapidité avec lesquels il a réalisé ce document.

Cette thèse a pu exister grâce à une bourse de collaboration entre le Conseil Culturel de l'Ambassade de France à Beyrouth et la Fondation Saëb Salam. Je les en remercie.

Outre l'environnement scientifique et académique, j'ai trouvé dans l'Equipe de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique de Grenoble un environnement humain et amical inestimable. L'affection et l'amitié des membres qui en font partie m'ont toujours épaulée et rassurée, surtout dans les moments difficiles. Que chacun d'eux trouve ici l'expression de mon sentiment profond et de mon amitié sincère.

Finalement, je ne puis oublier le soutien moral et la compréhension de ma famille et de mes amis qui m'ont réconfortée à tout moment.

Table des Matières

Volume 1

Introduction	1
I. Constat de problèmes dans l'enseignement de la géométrie	1
II. Une approche des problèmes	7
III. Méthode de la recherche	11
Chapitre I	
Construction d'un processus d'enseignement	13
I. Statut de l'outil informatique dans la séquence	13
I.1. Par rapport à l'E.A.O.	13
I.2. Par rapport à l'enseignement de l'informatique	14
I.3. Nouveau pôle dans la relation pédagogique	14
I.4. Puissance d'action, outil expérimental	15
I.5. Apprentissage par adaptation aux contraintes d'un dispositif	15
I.6. Conceptions différentes des objets et modification de la relation au savoir	16
I.7. L'ordinateur, révélateur du processus d'apprentissage	17
II. Champ conceptuel visé	17
II.1. Représentations graphiques d'objets spatiaux	17
II.2. Repérage tridimensionnel	18
III. Type de représentation adopté	21
III.1. Enjeu de la perception	21
III.2. Raisons du choix de la perspective cylindrique	22
III.3. Pourquoi la perspective cavalière ?	22
III.4. Caractéristiques de la perspective adoptée	25
III.5. Ambiguïtés de la perspective adoptée	25
IV. Variables de la séquence	28
IV.1. Le type de manipulation : matérielle ou symbolique	28
IV.2. Le logiciel utilisé : Mac Paint ou Mac Space	29
IV.3. Le monde d'objets concerné	30
V. Déroulement de la séquence, Analyse a priori du processus d'apprentissage	35
V.1. Composition de la séquence	35
V.2. Objectifs et modèles de connaissances visés par le processus	37
VI. Dispositif expérimental	44

Chapitre II	
Deux situations de dessin avec Mac Paint	45
I. Analyse conceptuelle de Mac Paint	45
II. Première situation : "Simulation"	47
II.1. Analyse de la tâche	47
II.2. déroulement	49
a) Première modalité	50
b) Deuxième modalité	50
II.3. Analyse de l'activité des élèves	51
II.3.1. Stratégies au cours de la première étape de la première phase	51
II.3.2. deuxième étape de la première phase	52
II.3.3. Deuxième phase	53
II.3.4. Moyens de contrôle	56
II.4. Phase collective	57
III. Deuxième situation : "Arêtes cachées"	58
III.1. Analyse de la tâche	58
III.1.1. Première modalité	58
III.1.2. Deuxième modalité	60
III.2. Déroulement et dimensions sociales de la situation	61
III.2.1. Première séance	62
III.2.2. Deuxième séance	63
III.3. Quelques résultats de l'analyse des productions des élèves	64
III.3.1. Evolution des stratégies	64
III.3.2. Classification des productions des élèves	65
a) Hiérarchie des représentations	66
b) Moyens de contrôle	68
1) perception	68
2) composition à l'aide de cubes réels	70
3) nombre de cubes	72
4) deux directions de vue différentes	73
5) existence de configurations à cubes décalés	73
6) combinaisons des deux derniers moyens	74
7) importance de la vue de face	74
c) Exemples illustrant les stratégies des élèves	75

Chapitre III	
Analyse de Mac Space	
Phase d'initiation et étude du premier contact des élèves avec un logiciel complexe	85
I. Introduction et préliminaires	85
II. Analyse conceptuelle de Mac Space	91
II.1. Préliminaires	91
II.2. Relation entre une configuration spatiale et sa représentation	91
II.3. Analyse du système de coordonnées sous-jacent	96
II.4. Mac Space et le dessin technique : deux logiques différentes	99
III. Type d'interaction avec Mac Space	102
III.1. Introduction	102
III.2. Paramètres de l'interface de Mac Space	104
III.2.1. Dispositifs et représentation des entrées	104
III.2.2. Dispositifs de sortie	107
III.2.3. Mode opératoire ou séquençement des opérations	114
III.2.4. Format d'affichage des informations	127
III.2.5. Langage de Mac Space	129
IV. Présentation des phases d'initiation	133
IV.1. Objectifs	133
IV.2. Fondement théorique des choix de la phase de familiarisation	134
IV.3. Analyse de l'activité "Icônes" : Reconnaissance de fonctions	137
IV.3.1. Objectifs	137
IV.3.2. Cadre théorique de l'analyse des réponses	138
IV.3.3. Analyse des réponses des élèves	139
IV.4. Analyse d'une activité semi-guidée	155
IV.4.1. Objectifs	155
IV.4.2. Analyse des réponses des élèves	158

Chapitre IV

Construction d'un pavé droit avec Mac Space

Résolution d'un premier problème impliquant le système de coordonnées

167

I. Une stratégie d'analyse de la séquence avec Mac Space	167
II. Analyse de la tâche "Pavé"	171
II.1. Préliminaires	171
II.2. Analyse des stratégies possibles	172
II.2.1. Analyse de la construction d'un rectangle	172
II.2.2. Analyse de la construction d'un pavé	177
III. Analyse de l'activité des élèves	182
III.1. Algorithmes généraux de solution	182
III.2. Evolution du rapport des élèves à l'espace du logiciel	193
III.2.1. Analyse de processus-clés dans la construction de l'espace du logiciel	193
III.2.2. Evolution des représentations des élèves de l'espace du logiciel	197
1) Construction du système de référence	198
2) Construction de la relation : "espace de l'objet / espace des fenêtres"	207
III.3. Evolution de représentations du fonctionnement : interaction avec l'outil	210
a) "Cotation"	211
b) "Rectangle"	215
c) "Prisme"	219
III.4. Bilan et conclusion	227

Chapitre V

Construction d'assemblages de cubes avec Mac Space

Un mode particulier d'accès à l'espace

231

I. Analyse de la tâche	231
I.1. Objectifs	231
I.2. Déroulement de l'activité	231
I.3. Monde d'objets impliqués	232
I.4. Deux situations de dessin, deux cadres de référence	234
I.5. Algorithmes possibles de construction à l'aide de Mac Space d'un empilement de cubes	237

I.5.1. Analyse a priori de la construction d'un cube de l'empilement	238
I.5.2. Problème de l'accès à un plan de traitement	239
a) Accès pour sélection : "problème des étages"	239
b) Accès pour construction : "problème des niveaux"	242
I.5.3. Quel problème dans cette situation ?	242
II. Analyse de l'activité "Assemblages 1". Processus d'adaptation	243
II.1. Procédures "Mac Paint"	244
II.2. Procédure "ordre de traitement des cubes"	249
II.3. Procédures "dessin papier-crayon"	252
II.4. Procédures "dessin technique"	255
II.5. Bilan et conclusion (concernant "Assemblages 1")	258
III. Analyse de l'activité "Assemblages 2"	261
III.1. Introduction	261
III.2. Déroulement et raisons d'être de la phase collective	262
III.2.1. Déroulement	262
III.2.2. Raisons d'être de la phase collective	264
a) Raisons relevant des objectifs de la séance	264
b) Raisons relevant de la structuration de l'espace par le logiciel	265
* Situation de dessin en perspective "papier-crayon"	266
* Situation de représentation par le dessin technique	268
* Situation de représentation avec Mac Space	270
c) Raisons relevant de l'interface du logiciel	272
d) Raisons relevant du déroulement de l'activité des élèves et du conditionnement de leur action	280
III.3. Algorithmes généraux de solution	281
III.4. Evolution de la représentation du système de référence	295
III.5. Evolution de la structuration de l'espace du logiciel en fonction de l'espace de l'objet	300
III.6. Evolution de la représentation du logiciel en tant qu'outil	313
III.7. Moyens de contrôle	321
III.7.1. Contrôle des dimensions des composants	321
a) contrôle par les valeurs des coordonnées	321
b) contrôle par des propriétés projectives	322
III.7.2. Contrôle des positions des composants	323
a) contrôle par les valeurs des coordonnées	323
b) contrôle par des propriétés projectives	325
III.8. Bilan et conclusion	330

Chapitre VI	
Construction d'une surface en escalier	
Structuration de l'espace en strates selon les trois directions principales	337
I. Objectifs et analyse a priori de la tâche	337
I.1. Objectifs	338
I.1.1. Structuration de l'espace du logiciel	338
I.1.2. Système de référence du logiciel	341
I.1.3. Mode de fonctionnement du logiciel	344
I.2. de "Escaliers 1" à "Escaliers 2"	346
II. Analyse de l'activité "Escaliers 1"	350
II.1. Préliminaire	350
II.2. Algorithme de résolution avant la phase collective	351
II.3. Structuration de l'espace du logiciel et problématisation de la situation	354
II.3.1. Structuration de l'espace : désignations, mesures, directions	354
II.3.2. "Problème des niveaux"	359
II.4. Interaction avec le logiciel en tant qu'outil	361
II.5. Algorithmes de construction après la phase collective	366
II.6. Evolution de la construction par les élèves du système de référence	370
II.7. Bilan et conclusion (concernant l'activité "Escaliers 1")	399
III. Analyse de l'activité "Escaliers 2"	403
III.1. Espace relatif et espace absolu	403
III.2. Moyens de contrôle	411
III.3. Bilan et conclusion	416

Volume 2

Chapitre VII	
 Systèmes de référence dans une situation de communication sans ordinateur	419
I. Préliminaires	419
I.1. Objectifs	419
I.1.1. objectifs de la situation en soi	419
I.1.2. objectifs par rapport à la séquence	422
I.2. Analyse du milieu	423
I.2.1. Changement de cadre	424
I.2.2. D'une situation d'interaction à une situation de communication	425
I.2.3. Dimension sociale de la situation de communication	426
I.2.4. Monde d'objets	427
II. Analyse de la phase de codage	432
II.1. Objectifs de l'analyse	432
II.1.1. Analyse du type de repérage	433
II.1.2. Rôle du type d'objet	433
II.1.3. Objets géométriques fondamentaux et conceptions	433
II.1.4. Relation entre le type de repérage et la formulation du message	435
II.2. Analyse des messages des élèves	436
(David, Rachel)	436
(Eric, Richard)	451
(Olivier, Stéphane)	472
III. Analyse de la phase de décodage	493
III.1. Introduction	493
III.2. Analyse des productions des élèves	495
(David, Rachel)	495
(Eric, Richard)	502
(Olivier, Stéphane)	513

Conclusions générales	527
I. Caractérisation d'une approche des problèmes de repérage dans l'espace à l'aide de l'outil informatique	528
I.1. Du côté de l'apprentissage des élèves	
i- Représentations symboliques, substitut de manipulations concrètes	528
ii- Interaction informatique / géométrie	528
iii- Evolution, chez les élèves, du rôle de l'ordinateur	529
I.2. Du côté des élèves, vis à vis de la notion :	
Acquisition de la notion de "système de référence", construction du sens	530
i- Des obstacles constitutifs de l'apprentissage du repérage dans l'espace	530
ii- systèmes de référence sous-jacents aux modèles d'action au cours de l'interaction avec l'ordinateur :	
d'un repérage topologique à un repérage euclidien	531
iii- Systèmes de référence comme moyen de communication d'informations spatiales	532
I.3. Réflexions à propos de l'utilisation de l'informatique dans l'enseignement	536
II. Perspectives : des questions qui restent ouvertes	538
II.1. Une question méthodologique	538
II.2. Questions sur l'enseignement	538
Références bibliographiques	541
Annexe	549
	1-135

Introduction

"Le vrai problème qu'a à affronter l'enseignement des mathématiques n'est pas le problème de la rigueur, mais le problème de la construction du "sens", de la "justification ontologique" des objets mathématiques"

René Thom (1974)

I. Constat de problèmes dans l'enseignement de la géométrie

La didactique et la notion de sens

Les thèses que nous avançons dans ce travail se situent dans le cadre des recherches en didactique des mathématiques. Nos travaux s'intéressent donc à l'étude des processus de transmission et d'acquisition de connaissances relatives à cette discipline. De par leur attachement théorique à ce contexte, ces travaux placent au centre de leur intérêt le problème de la construction par les élèves du *sens* des connaissances visées par l'enseignement.

Dans ce contexte, Brousseau (1983) précise cette notion de sens : "Le sens d'une connaissance mathématique se définit - non seulement par la collection des situations où cette connaissance est réalisée en tant que théorie mathématique - non seulement par la collection des situations où le sujet l'a rencontrée comme moyen de solution, mais aussi par l'ensemble des conceptions, des choix antérieurs qu'elle rejette, des erreurs qu'elle évite, les économies qu'elle procure, les formulations qu'elle reprend, etc ..." (p.170)

Du point de vue de la didactique, fondée sur une théorie constructiviste de la constitution des connaissances, cette notion de sens s'oppose à une orientation "axiomatique" de transmission des connaissances qui a marqué les programmes d'enseignement des mathématiques (au moins avant la dernière réforme de 1986). Une telle orientation suggère un apprentissage de savoirs immédiatement structurés, utilisables et transférables. Dans un tel cas, et selon l'expression de Brousseau, "le volume des connaissances [...] gonfle dans un terrain vierge" (Brousseau, *ibid.*).

Une notion mathématique, objet d'enseignement

Dans le cadre de l'enseignement de la géométrie, la notion de *système de référence* est l'un des exemples illustrant une telle orientation : en consultant les manuels scolaires et la pratique de l'enseignement, on peut remarquer que cette notion est introduite, dès la classe de quatrième, comme un fait établi. La notion de *repère*, les éléments caractéristiques du repère utilisé (qu'il soit unidimensionnel, bidimensionnel ou tridimensionnel) sont présentés comme des réalités ayant toujours existé. Ils ne sont pas envisagés comme des créations de la raison humaine, en réponse et comme solution nécessaire à des problèmes spécifiques, nécessitant l'organisation de l'espace physique en vue de la représentation, la mémorisation, la communication ou le traitement d'informations géométriques. (Bessot, Eberhard, Osta, Polo, 1988).

Du géométrique à l'algébrique

D'autre part, et dès que cette notion est introduite, les élèves entrent de manière subite dans le cadre de la *géométrie analytique*. Un nouveau langage, un nouveau système de représentations symboliques sont utilisés, imposés par l'enseignement sans être construits par les élèves en interaction avec leurs connaissances géométriques (Laborde 1982). Les points sont remplacés par des nombres, les courbes par des équations. Des relations algébriques sont définies et utilisées sur les caractéristiques numériques des éléments d'une configuration, pour remplacer des relations géométriques supposées entre ces éléments. En parallèle avec cette modification de la nature de l'activité "géométrique", les figures et représentations graphiques disparaissent, ou presque.

Ainsi l'enseignement, dès la classe de quatrième, "réduit" la géométrie à l'algèbre, en négligeant l'interaction qui doit exister entre la construction de la connaissance géométrique et celle des "systèmes de signifiants auxquels elle est indissociablement liée" (Vergnaud, 1981). Il y a alors un risque de rupture brutale du lien de sens dans un tel passage du géométrique à l'algébrique. L'activité géométrique peut se transformer en une activité calculatoire, au sein de laquelle l'interprétation au niveau du géométrique est négligée. La disparition des figures est l'un des aspects de cette rupture.

Ce discours ne peut ignorer que, du point de vue historique, la genèse et l'évolution de la notion de système de référence ont été effectivement accompagnées par une abstraction et un détachement des figures. Plus encore, la géométrie analytique est apparue comme une solution économique aux problèmes et aux inconvénients liés à la construction de ces figures.

En relatant les avantages de la géométrie analytique, Poncelet exprime cette position négative vis à vis de ce rapport au concret :

"L'ancienne géométrie est hérissée de figures. La raison en est simple. Puisqu'on manquait alors de principes généraux et abstraits, chaque question ne pouvait être traitée qu'à l'état concret, sur la figure même qui était l'objet de cette question, et dont la vue seule pouvait faire découvrir les éléments nécessaires à la démonstration ou à la solution cherchée. Mais on n'a pas été sans éprouver les inconvénients de cette manière de procéder, par la difficulté de construction de certaines figures, et par leur complication, qui en rend l'intelligence laborieuse et pénible" *.

Notre discours ne nie pas l'importance d'une modélisation du géométrique par l'algébrique. Il ne nie pas les possibilités de généralisation, de démonstration et de traitement, sinon difficiles, offertes par la géométrie analytique et par l'abstraction du concret; il n'ignore pas non plus la nécessité de transmettre cet héritage culturel dans l'enseignement. Mais notre position accorde une grande importance à la construction active par les élèves des concepts impliqués; elle est fondée sur l'hypothèse que la genèse d'un concept mathématique prend sa source dans l'ensemble des problèmes pour lesquels il constitue un instrument efficace de solution.

Dans l'enseignement traditionnel, les conditions nécessaires à la genèse de la notion de système de référence restent masquées. Au lieu d'être communiquée comme une modélisation, à construire, des rapports que les élèves peuvent avoir avec l'espace, cette notion est présentée comme un modèle déjà construit, au sein duquel les relations géométriques ne sont exprimées que par le calcul algébrique. Cette "transposition" du savoir géométrique est qualifiée par René Thom comme étant "psychologiquement peu recommandable parce que les objets algébriques (symboles) sont trop pauvres sémantiquement pour se laisser apprécier directement comme une figure spatiale". (cité dans Boule 1979, p.17).

* de Poncelet : "*Traité des Propriétés Projectives des figures, ouvrage utile à ceux qui s'occupent des applications de la Géométrie Descriptive et d'opérations géométriques sur le terrain* , éd. 1865-1866. Paris : Gauthier-Villars. pp.207-208 " (cité dans Piaget & Garcia, 1983, P. 110-111).

Problème de sens dans la géométrie tridimensionnelle

Dans le cas de la *géométrie tridimensionnelle*, une sublimation rapide et brutale semble être effectuée entre des activités concrètes de manipulation et d'observation, et des activités mettant en œuvre des abstractions, des théorisations et des concepts. Ces derniers sont introduits comme des préliminaires à la connaissance, selon une conception discursive de l'enseignement. Il y a rupture avec toute observation ou manipulation antérieure, dans un processus dévalorisant ce qu'il est convenu d'appeler "intuition géométrique", aux dépens d'une algébrisation poussée au point d'ignorer tout lien de sens avec les figures géométriques ou leurs représentations.

Dans de tels cas, "la géométrie en tant que lieu privilégié d'une rationalité poussée à son point d'excellence" triomphe de "l'étude des rapports de l'homme avec l'espace". C. Laborde (1985) a explicité une telle dichotomie, double origine de la géométrie enseignée en général, en termes d'oppositions : intuition-déduction, construction-démonstration et spatial-numérique.

Cette dichotomie s'est souvent manifestée, dans les contenus de l'enseignement de la géométrie, par deux conceptions des activités géométriques entre lesquelles existe une différence importante : seules celles relevant de la déduction, de la démonstration ou du numérique sont considérées comme des activités mathématiques à proprement parler. Quant aux activités relevant de l'intuition, de la construction ou du spatial, elles se limitent à des activités d'observation d'objets physiques dans l'espace. (programme de 5^o, avant la réforme de 1986).

De telles activités semblent avoir pour but principal l'introduction de quelques objets géométriques, mais elles ne visent pas à faire acquérir ou construire, par les élèves, des connaissances spatiales. Même dans les phases suivantes de l'enseignement (cycle secondaire), ces activités ne sont pas exploitées d'une manière fonctionnelle comme fondement de connaissances géométriques, ne serait-ce que pour favoriser leur dépassement comme processus nécessaire à des abstractions ultérieures.

Problème d'accès aux situations spatiales

Essayons d'analyser les raisons qui peuvent expliquer cette aggravation de la rupture du lien de sens dans le cas de la géométrie tridimensionnelle.

Un moyen de représentation et de communication des informations spatiales est nécessaire entre maître et élèves, un système de représentations symboliques autour duquel un consensus peut exister au sein de la communauté qu'est la classe. Poncelet, avec la même connotation négative à l'égard des figures, met en évidence la distinction entre géométrie plane et géométrie tridimensionnelle :

"C'est surtout dans les questions de la Géométrie à trois dimensions, où les figures peuvent devenir tout à fait impossibles, que l'inconvénient que nous signalons se fait le plus sentir. Ce défaut de la Géométrie ancienne fait l'un des avantages relatifs de la Géométrie analytique, où il se trouve éludé de la manière la plus heureuse". (Poncelet, *ibid.*)

Une raison primordiale est donc la difficulté d'accès aux situations spatiales. Il se fait essentiellement à travers les *représentations graphiques*. Une représentation graphique d'une configuration spatiale est l'image de cette configuration par une transformation (souvent une ou plusieurs projections) sur un (ou plusieurs) plan(s). Certaines caractéristiques de la configuration représentée sont alors absentes ou modifiées; l'explicitation d'un code de lecture et d'écriture est exigée. Bien qu'il soit nécessaire, ce code ne peut être suffisant pour surmonter les difficultés de coordination de points de vue ou de construction de rapports entre espace graphique et espace physique.

Accordant une place importante à l'évidence dans l'élaboration des connaissances, Bkouche et Soufflet (1983) la considèrent comme un critère essentiel dans la distinction entre géométrie plane et géométrie tridimensionnelle : "ce qui va distinguer la géométrie plane et la géométrie dans l'espace, c'est non seulement l'objet (situations planes et situations spatiales), mais surtout le rapport d'évidence ou de non-évidence qui s'établit entre ces situations et l'élève" (p.15). L'évidence est encore plus compromise lorsque le rapport aux situations spatiales se construit à travers des représentations planes. Avec cette diminution du rôle de l'évidence, l'interprétation de ces représentations exige, de la part de l'élève, une *activité perceptive* (au sens de Piaget 1961 et Vurpillot 1963) permettant une appréhension des configurations représentées.

Dans les manuels scolaires et dans la pratique de l'enseignement, la géométrie dans l'espace se distingue par un ensemble de figures stéréotypées, présentant le moins possible d'ambiguïtés. De telles représentations sont ainsi considérées (ce qui n'est pas toujours vrai) comme étant perçues et interprétées de la même manière par le maître et par les élèves, et c'est ce qui justifie leur utilisation dans l'enseignement. Ils fonctionnent donc comme des objets paramathématiques, selon l'expression de Chevallard (1985). Ainsi, le rôle de l'activité perceptive est volontairement minimisé. Il se réduit, dans ce cas, à la perception intuitive qui, à partir d'une représentation graphique, évoque une configuration spatiale, moyennant des stéréotypes scolaires et culturels. Ce niveau de la perception n'implique pas de relations explicites ou contrôlées entre les éléments de la représentation et ceux de la configuration représentée.

La communication à travers ces représentations entre les partenaires de la relation didactique se fait donc sans aucune explicitation de codes, de légende ou de règles de lecture ou de construction. De ce fait, le problème de la *représentation plane des figures de l'espace* n'est pas abordé en tant qu'objet d'enseignement. Les dessins ne sont utilisés que comme supports visuels pour illustrer des problèmes. Aucun rôle fonctionnel ne leur est accordé dans la construction des connaissances géométriques relatives aux configurations étudiées.

Quelques questions

Avant de clore ce constat autour du statut des représentations graphiques dans l'enseignement de la géométrie tridimensionnelle, signalons que les nouveaux programmes scolaires (arrêté du 9 juillet 1986) leur accordent plus d'importance : "Les représentations graphiques doivent tenir une place très importante dans l'ensemble des parties du programme. Outre leur intérêt propre, elles permettent de donner un contenu intuitif et concret aux objets mathématiques étudiés; leur mise en œuvre (...) met l'accent sur des réalisations combinant une compétence manuelle et une réflexion théorique".

On voit là une tendance à une réconciliation des deux pôles de la géométrie enseignée, par le biais des représentations comme intermédiaire entre le concret et sa théorisation. La question reste néanmoins posée sur les moyens à mettre en œuvre pour exploiter une telle place attribuée aux représentations graphiques : comment les utiliser de manière fonctionnelle dans la transmission des connaissances géométriques ? peuvent-elles procurer un intermédiaire symbolique pour restaurer le lien de sens rompu entre le spatial et le théorique, dans l'enseignement de quelques notions géométriques (notamment dans la genèse et l'évolution de la notion de système de référence) ? comment surmonter les difficultés pratiques qui rendent difficiles et coûteuses des activités graphiques en classe ?

II. Une approche des problèmes

Dans nos travaux, nous supposons que *l'utilisation de l'informatique comme outil d'aide à l'enseignement* peut permettre une nouvelle approche des problèmes soulevés ci-dessus. Nous nous proposons d'étudier ses spécificités, dans le contexte de l'enseignement de la connaissance concernée : la notion de système de référence euclidien tridimensionnel.

En nous situant dans le cadre théorique de la didactique, et en prenant appui sur des études psychogénétiques concernant la représentation de l'espace (Piaget 1974), la genèse et le développement des représentations graphiques (Luquet 1972, Caron-Pargue 1979, Dolle 1984, 1985, Sanchez 1980) et la perception (Piaget 1961), nous proposons une approche dont nous présentons, dans la suite, les caractéristiques principales :

Construction didactique d'un processus

Un processus d'apprentissage est construit (cf. chap.I, § V), à travers une séquence d'enseignement du système de référence euclidien tridimensionnel, destinée à des élèves de collège, de classe de 3^o, ayant quelques connaissances concernant le repérage plan (les élèves concernés par nos expérimentations avaient reçu un cours classique à ce sujet).

La séquence comporte des situations-problèmes, visant à faire construire par les élèves divers systèmes de repérage dans l'espace. Des variables didactiques ont été dégagées (cf. chap.I, § IV), variables pertinentes au niveau des structurations possibles de l'espace, et des natures différentes des systèmes de référence sous-jacents au fil des situations-problèmes : les relations mises en jeu dans les systèmes évoluent des relations topologiques aux relations euclidiennes, en passant par les relations projectives entre les éléments des configurations spatiales concernées. L'objectif principal est de reconstruire le sens de telles connaissances théoriques, comme modélisation de rapports spatiaux.

Pour résoudre les problèmes proposés, les élèves doivent utiliser et faire évoluer leurs connaissances à propos du repérage plan. La solution des problèmes posés doit passer par le dépassement de ces connaissances et leur extension pour construire un système de repérage tridimensionnel (cf. chap.I, § II), en surmontant des problèmes de représentation de l'espace et de coordination de points de vue. Les connaissances en repérage plan font partie des outils dont les élèves disposent pour ce faire.

Les situations sont construites de manière à préserver le lien de sens entre la géométrie (relations au sein des configurations spatiales concernées) et son expression au niveau algébrique, dans le contexte de la géométrie tridimensionnelle. Notre hypothèse est que cette restauration du sens de l'analytique aura, par ailleurs, des retours au niveau même de la géométrie plane.

Les représentations graphiques comme source de problèmes en géométrie dans l'espace

Un nouveau statut est attribué aux représentations graphiques : d'objets "paramathématiques" telles qu'elles sont considérées dans l'enseignement traditionnel, de simples supports visuels pour la résolution d'autres problèmes, elles deviennent dans cette séquence le problème même à résoudre. En leur donnant ce statut, nous nous basons sur l'hypothèse d'une interaction entre la maîtrise des représentations planes de certains objets et les connaissances géométriques relatives à ces objets.

Il nous paraît important de préciser ici la place de l'apprentissage de la représentation plane d'objets spatiaux, par rapport aux objectifs de cette recherche : nous essaierons de la situer par rapport à d'autres recherches actuelles, qui adoptent comme objectif d'explicitier un ensemble de règles ou de proposer des situations d'enseignement ayant comme objet la représentation plane de configurations spatiales : que ce soit en perspective conique (Bautier 1987), en perspective cavalière (Audibert & Keita 1987, Bautier & al. 1987) ou en systèmes de vues, concernant surtout l'enseignement technique (ouvrage collectif INRP sur le dessin technique, 1984).

Dans notre recherche, les problèmes posés concernent des représentations graphiques en perspective cavalière dans des situations soit de traitement direct de ces représentations (chap. II) soit de traitement indirect à travers un système particulier de vues (chap. IV, V, VI). Dans les deux cas, nos objectifs ne portent pas sur l'enseignement des règles élémentaires de construction de représentations graphiques. En effet, ce problème est résolu, soit par les données initiales du problème (représentation d'un objet unité, représentation squelettique de l'objet), soit par les possibilités offertes par l'informatique (logiciel prenant en charge la construction de la perspective de l'objet à partir du système de vues (cf. chap. III, § II).

Au début, les connaissances requises en matière de représentation graphique (surtout en perspective cavalière) se réduisent donc à un strict minimum que nous supposons disponible d'après les thèses de la psychologie génétique (élèves de 14-16 ans), et même d'après les acquis culturels et scolaires dans ce domaine, auxquels des recherches comme celle de

Sanchez (1980) attribuent un rôle fondamental qui s'ajoute à celui de la dynamique propre de l'évolution du graphisme chez l'enfant.

Par ailleurs, nous supposons qu'un apprentissage dans ce domaine aura lieu au cours des activités, apprentissage qui ne sera considéré comme objet de notre analyse que dans la mesure où il est en interaction avec les connaissances géométriques visées, relatives à la construction et l'utilisation du système de référence euclidien tridimensionnel.

La perception : moyen de contrôle et obstacle

Une des orientations principales de cette recherche est de redéfinir le statut et le rôle de la perception dans l'apprentissage de connaissances en géométrie tridimensionnelle. Dans la construction de cette séquence d'enseignement, la perception acquiert deux rôles contradictoires et complémentaires : d'abord comme un moyen de contrôle intuitif dont disposent les élèves pour l'interprétation et la production des représentations graphiques, puis comme un obstacle qu'ils doivent dépasser, en construisant contre lui d'autres moyens de contrôle basés sur des relations géométriques, relevant du repérage.

La perception joue donc un rôle central dans ce processus d'apprentissage : comme point d'appui représentatif, mais aussi comme obstacle à franchir. Ce double statut n'est pas indépendant de celui du lien de sens que cette séquence vise à restaurer : c'est à travers la perception comme point d'appui que ce lien est assuré entre les configurations spatiales et leur modèle théorique, et c'est à travers elle comme obstacle à franchir que cette connaissance théorique se détache des objets concrets ou de leurs représentations pour acquérir une certaine abstraction et une certaine généralisation.

Les situations sont construites de manière à créer des conflits entre ce qui est "perçu" et ce qui est "conçu" par les élèves, fait qui exige le dépassement de la perception statique. Dans cette transformation de l'activité perceptive, nous nous basons sur la distinction que fait l'école piagétienne entre "espace perceptif" et "espace représentatif", entre "pensée figurative" et "pensée opérative".

Pour favoriser une telle transformation de l'activité perceptive, notre recherche va à l'encontre de ce qui est usuel dans la pratique de l'enseignement et dans les manuels scolaires : elle tente de multiplier les ambiguïtés perceptives, par le choix particulier de la perspective adoptée pour les représentations (cf. chap.I, § III). Le but principal est de favoriser le franchissement du problème de la vision dans l'espace, en déstabilisant la confiance en la perception, ce qui favorise des stratégies opératives, basées sur la mise en

rapport et la coordination des constituants de la configuration spatiale, par opposition au procédé figuratif, basé sur la perception intuitive et statique. Dans un tel cas, le dessin ne se réduit pas à une illustration d'un problème, il est un moyen d'expression de connaissances antérieures, et un problème dont la résolution fait évoluer ces connaissances.

L'informatique comme outil d'aide

Par l'utilisation de l'informatique, cette recherche ne vise pas l'enseignement de l'informatique. Elle se situe dans le cadre des tentatives d'ingénierie didactique "à composante informatique" (Chevallard, 1985). Quoique les études sur l'enseignement de la programmation, ou sur la formation à l'utilisation de systèmes informatiques se soient rapidement développées, moins nombreuses sont celles concernant l'informatique comme outil d'aide à l'enseignement des mathématiques.

Pour l'objet spécifique d'enseignement concerné par cette recherche, des questions peuvent se poser : l'outil informatique peut-il aider à surmonter les problèmes posés par la représentation plane d'objets spatiaux, dans le cadre de l'enseignement de la géométrie de l'espace ? Peut-il contribuer à l'évolution et au contrôle de l' "activité perceptive", lors de la lecture ou de la production de dessins illustrant un problème de géométrie dans l'espace ?

Nous supposons que, dans l'enseignement des savoirs visés par cette recherche, l'utilisation de l'ordinateur peut permettre une approche différente des problèmes, de par des possibilités de traitement autrement impossibles. Les possibilités les plus directement liées à nos objectifs (reconstruction du lien de sens et activité perceptive) sont celles de la simulation de situations spatiales réelles, à travers des systèmes symboliques, et de la visualisation de scènes spatiales. Comme nous le montrons à plusieurs reprises (cf. chap.III, § II), la simulation dépasse le simple lien de représentativité entre configurations spatiales et leurs représentations graphiques.

Mais notre utilisation de cet outil ne se réduit pas à une conception spontanéiste de l'apprentissage par l'ordinateur, à l'exemple des anciennes thèses de Papert (1981). Elle est, au contraire, basée sur la construction de situations, en fonction des objectifs spécifiques de l'enseignement, et en relation étroite avec les caractéristiques conceptuelles et le type d'interaction des logiciels utilisés (cf. chap. III, § II, III). La recherche acquiert ainsi une orientation ergonomique, fondée sur l'hypothèse suivante : il existe une interaction entre la construction par les élèves de connaissances concernant le mode de fonctionnement du dispositif, d'une part, et les connaissances géométriques utilisées et élaborées au cours de la résolution du problème, d'autre part.

Nous éclaircirons dans le chap.I au § I le statut et le rôle attribués à l'outil informatique dans la séquence.

III. Méthode de la recherche

Les méthodes utilisées dans cette recherche sont liées aux méthodes globales de la didactique comme domaine de recherche. Ayant pour objectif l'étude des processus d'acquisition et de transmission de connaissances particulières, nous considérons que les problèmes sont le lieu privilégié de fonctionnement et d'évolution de ces connaissances. La construction de ces problèmes nécessite alors une analyse du savoir impliqué (§ II, chap.I).

D'autre part, nous avons mené une analyse des logiciels utilisés, à deux niveaux : le niveau conceptuel et le niveau de l'interaction avec la machine (début chap.II, chap.III). Les tâches au sein de la séquence d'enseignement ont été construites sur la base de ces analyses, et de certains choix considérés comme pertinents; des attentes se tiennent aussi derrière cette construction, concernant l'évolution voulue des conduites des élèves. Ces attentes sont explicitées dans l'analyse a priori de chacune des activités, au début du chapitre correspondant (chap. IV, V, VI, VII).

L'évaluation de ces attentes, et des hypothèses qui les sous-tendent, se fait par leur confrontation aux faits observés lors de l'expérimentation de la séquence. D'autre part, cette confrontation permet de dégager les conditions qui ont effectivement contribué à la production des comportements significatifs au niveau de la connaissance visée. Les chapitres IV, V, VI et VII comportent l'analyse des activités des élèves au cours des situations-problèmes successives.

Un autre moyen d'évaluation est intégré au sein même du processus, faisant partie de sa construction : une situation de communication d'informations spatiales, sans utilisation de l'ordinateur (chap.VII), joue le double rôle de suite du processus et de moyen d'évaluation des connaissances acquises au cours des situations précédentes.

L'analyse des données recueillies a été faite de manière clinique, en vue de dégager les relations existant entre les conceptions des élèves et les situations. Ces analyses portent sur l'interaction entre les élèves et les problèmes, l'interaction entre les élèves et l'ordinateur, et les interactions des élèves entre eux (ils travaillent en binômes, ce qui favorise les conflits socio-cognitifs, et les besoins d'argumentation). Nous pensons qu'une analyse clinique est un moyen approprié pour dégager de tels aspects.

Ce choix clinique définit de manière particulière la nature et le statut des résultats obtenus : l'objectif principal n'est pas de les généraliser, mais de dégager des aspects précis et pointus caractérisant les rapports des élèves avec le champ particulier des connaissances concernées, dans des situations finalisées par des objectifs d'enseignement. Dans le cadre de cette orientation clinique, et avec l'impossibilité de rapporter dans ce travail toutes les analyses effectuées des faits observés, nous avons choisi de ne présenter que celles concernant trois binômes dont l'activité recouvre le plus grand nombre possible de ces faits, de manière représentative de l'ensemble des élèves-sujets. Ce choix ne s'applique pas aux deux premières situations, car leur analyse est plus sommaire (chap.II), ni à la phase d'initiation au logiciel (chap.III).

Enfin, il est important de préciser que la séquence a été préparée en interaction avec l'enseignant. Des phases collectives ont été prévues au sein ou à la fin des différentes situations, en vue d'un bilan des stratégies mises en œuvre par les élèves, et d'une institutionnalisation de certaines connaissances. L'analyse de ces phases ne sera présentée que dans le cas où elles présentent un décalage significatif avec l'analyse a priori et les attentes. Ainsi, par exemple, l'une de ces phases sera analysée de manière détaillée, car elle n'était pas prévue dans la préparation de la situation (§ III.2, chap.V). En général, l'analyse ne portera que sur les situations a-didactiques (Brousseau, 1986), donc sur l'apprentissage des élèves au cours des phases situées entre le moment où le problème leur est posé et qu'ils le considèrent comme le leur, d'une part, et la première intervention suivante du maître, d'autre part. Au cours de ces phases, nous avons tenu à ce que les interventions du maître soient réduites au minimum possible, et qu'elle soient de nature à ne pas induire des orientations particulières de solution ou d'approche des problèmes posés.

Chapitre I

Construction d'un processus d'apprentissage

I. Statut de l'outil informatique dans la séquence

La construction de la séquence didactique étudiée ne peut être détachée du choix fondamental du statut à accorder à l'ordinateur dans l'ensemble des situations... Cet outil est conçu, non comme une nouveauté qui s'ajoute à la situation, non seulement comme "un outil technique, mais aussi un outil pour la pensée, le raisonnement, la résolution de problèmes" (Balacheff et al. 1985); nous essaierons d'avoir sur cet outil un regard objectif et, le plus possible, débarrassé des espoirs enthousiastes que peuvent susciter les bienfaits de l'introduction de l'ordinateur dans l'enseignement. Nous essaierons donc d'être vigilante vis-à-vis d'un "technocentrisme" qui trouve ses racines dans l'imaginaire collectif. Ce terme, qui évoque une analogie avec le stade de l'égoïsme dans le modèle de Piaget, est défini par Papert (1985) comme étant "la tendance à donner une centralité à un objet technique...[...]... tendance à considérer les ordinateurs et Logo comme des facteurs qui agissent directement sur la pensée et l'apprentissage".

Essayons de situer le statut et le rôle qui ont été attribués à l'outil informatique dans cette étude :

I.1. Par rapport à l'Enseignement Assisté par Ordinateur :

Notre démarche didactique n'est pas celle de l'apprentissage programmé : les logiciels utilisés dans cette séquence ne sont pas des logiciels d'E.A.O; ce sont des éditeurs graphiques, conçus pour la réalisation de dessins : configurations spatiales pour l'un et figures planes pour l'autre. Ils n'interviennent pas dans la situation au gré d'une démarche pédagogique préconçue qui orienterait le travail des élèves, mais par l'ensemble des représentations symboliques des outils et des objets impliqués, des contraintes qu'ils imposent et des algorithmes de construction qu'ils permettent. Ils offrent, donc, deux milieux régis par des règles de traitement d'objets, des relations entre ces objets et des potentialités d'action. Les choix faits par les élèves, parmi ces potentialités, seront une partie intégrante du processus d'apprentissage et des observables à analyser.

I.2. Par rapport à l'enseignement de l'informatique

L'ordinateur intervient dans cette recherche comme outil d'aide à l'enseignement et à l'apprentissage de connaissances mathématiques; l'informatique n'est donc pas notre objet d'enseignement, pas plus que l'entraînement à l'utilisation de logiciels. Néanmoins, une certaine connaissance du fonctionnement de l'outil est indispensable : tout au long du processus, et en interaction avec l'évolution de la connaissance mathématique visée, les élèves font un apprentissage du fonctionnement de la machine et des règles de traitement sous-jacentes aux logiciels utilisés. Ceci nous oblige à contrôler cette interaction, et à nous procurer les moyens de l'analyser... Nous porterons un intérêt particulier à la phase d'initiation minimale à l'utilisation d'un des logiciels, phase dans laquelle les élèves détectent des applications utiles pour la réalisation d'une tâche précise, et construisent une certaine représentation du fonctionnement et des traitements possibles (cf. § V.2.1. du même chap. et § IV du chap.III).

I.3. Nouveau pôle dans la relation pédagogique

L'ordinateur, en tant qu'outil de résolution des problèmes posés, et en tant que milieu au sein duquel ces problèmes doivent être résolus, s'intègre dans le réseau de relations entre les trois pôles du système didactique : le savoir, l'enseignant et l'élève.

Un certain anthropomorphisme, pouvant exister chez les élèves, fera de cet outil un nouveau pôle dans ce réseau; l'ordinateur modifie, certes, la manière dont sont "transposés" et représentés les concepts impliqués, mais il modifie aussi la relation maître-élève. A certains moments du processus, cette relation passe à travers l'ordinateur : une fois le problème "dévolu", et le but précisé en fonction de ce qui semble à l'élève comme étant le désir du maître, c'est l'interaction avec l'ordinateur qui guide l'évolution de la résolution du problème. L'élève communique avec la machine, au sein d'une relation qui remplace la relation interpersonnelle avec le maître, cette dernière s'intégrant dans le cadre d'un contrat où le désir du maître est à remplir à chaque pas de la résolution.

Au cours de l'interaction avec la machine, cette dernière renvoie des résultats partiels qui servent à évaluer la démarche de l'élève, évaluation qui se distingue de celle que seul le maître est autorisé à faire dans une situation d'enseignement classique.

I.4. Puissance d'action, outil expérimental

L'outil informatique donne à la situation une dimension nouvelle, par la puissance d'action et de manipulation des représentations graphiques; il permet un traitement dynamique des informations : on peut agir sur le dessin, le modifier, le corriger, tout en sachant qu'à tout moment on peut récupérer le dessin de départ, ou des dessins intermédiaires qu'on aurait enregistrés. Le dessin n'est donc plus un support statique de représentation de l'objet, il est au coeur du problème, et c'est à travers lui que se manifestent et évoluent les conceptions des élèves.

Cette puissance d'action et de traitement de l'information offre la possibilité d'expérimentation rapide de procédures; les élèves peuvent prendre conscience des effets des modifications de stratégies sur le résultat, par les réponses instantanées ou différées de la machine et par les possibilités d'observation, de visualisation et de vérification. Elle dépasse donc un rôle d'assistance (quantitative) par rapport aux possibilités et à la vitesse de traitement de l'élève par un rôle plus fonctionnel : l'aide à la mise en oeuvre des algorithmes et des stratégies de résolution, voire l'orientation vers d'autres.

D'autre part, une catégorie de difficultés liées au graphisme (tracés corrects de lignes, parallélisme, angles droits,...) est écartée, par la donnée des outils disponibles dans le contexte de chacun des deux logiciels utilisés. Ceci offre l'occasion de traiter des problèmes de géométrie de l'espace, à travers leurs manifestations dans des représentations graphiques, sans que les objectifs soient détournés dans les difficultés techniques propres au graphisme.

I.5. Apprentissage par adaptation aux contraintes d'un dispositif

Nous partons de l'hypothèse que les élèves essayent, dans des situations-problèmes, d'appliquer des stratégies basées sur des connaissances antérieures qui avaient leur intérêt et leur succès (Brousseau 1986). Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par des travaux en ergonomie et en psychologie du travail, concernant l'apprentissage des règles de fonctionnement d'un dispositif : "lorsqu'un sujet apprend à utiliser un appareil, son objectif est de trouver une procédure pour réaliser la tâche, et ce qui l'intéresse est d'abord d'obtenir un résultat, ce n'est pas de comprendre...[...]... La procédure n'est donc pas déduite de la connaissance des règles de fonctionnement, elle est le fruit de modifications apportées à une procédure connue pour la rendre compatible avec les contraintes du dispositif. Ces modifications tendent à être minimales." (Richard 1983)

Face à l'ordinateur, les stratégies initiales ne sont pas toujours applicables. Nous nous intéressons, dans cette recherche, aux processus d'adaptation ou d'évolution des stratégies des élèves, dans le contexte de leur confrontation aux logiciels utilisés, basés sur des systèmes de connaissance et de traitement de l'information qui ne suivent pas nécessairement la même logique de fonctionnement que celle de l'élève.

Notre approche pourrait donc être celle des ergonomes, dans le sens où elle essaie d'étudier le fonctionnement cognitif de l'Homme face à la machine; pourtant, notre but est différent. En effet, les études en ergonomie visent :

- * d'une part, à optimiser la conception des logiciels, pour qu'elle soit le plus possible adaptée aux stratégies des utilisateurs,

- * d'autre part, à créer des méthodes de formation et d'information efficaces pour initier les utilisateurs potentiels à une utilisation plus aisée et moins coûteuse, en réduisant le plus possible la distance entre leurs connaissances initiales et celles nécessaires à l'utilisation optimale de la machine.

Notre approche profite, au contraire, de cette "incompatibilité cognitive" entre ces deux systèmes de connaissance, pour pouvoir arriver à une conception autre des objets impliqués et de la connaissance mathématique impliquée. Une telle incompatibilité oblige les élèves à opérer un transfert d'un savoir, ou d'un savoir-faire initial en un savoir-faire-exécutable par la machine (Mendelsohn 1986, Samurçay & Rouchier 1985). Nous partons de l'hypothèse qu'un tel transfert fait partie d'un processus d'apprentissage favorisant l'évolution de leurs connaissances mathématiques.

1.6. Conceptions différentes des objets et modification de la relation au Savoir

Avec l'ordinateur, l'élève manipule en général des représentations des outils et des objets impliqués. Dans la séquence présentée par ce travail, il se produit un dédoublement de cette médiation, du fait que les objets mêmes du savoir visé sont des représentations graphiques d'objets spatiaux. Différentes représentations de ces représentations graphiques sont alors engagées. La confusion entre les représentations et les objets réels ne fait que croître et, d'une certaine manière, c'est cette confusion qui permet la mise en oeuvre du processus cognitif et didactique.

D'autre part, et comme nous le montrons dans § IV.2, chacun des logiciels utilisés adopte une conception particulière des objets de l'espace impliqués. Au cours de la mise en oeuvre de leurs modèles d'action pour la résolution des problèmes de construction, les contraintes de fonctionnement conduiront les élèves à extraire des propriétés nouvelles et

pertinentes des objets, qui peuvent être exprimées dans ce système de contraintes, et qui seraient autrement restées implicites ou non-repérées.

I.7. L'ordinateur, révélateur du processus d'apprentissage

Outre son rôle dans le processus d'apprentissage et dans la situation d'enseignement en général, l'ordinateur joue un rôle au niveau de la recherche : les échanges d'informations entre les élèves et l'ordinateur favorisent l'explicitation de leurs stratégies et de leurs démarches de résolution; pour mettre en oeuvre ces démarches, les élèves doivent les communiquer à la machine à travers des outils formels imposés par les modèles de fonctionnement de celle-ci; ils doivent donc les reformuler, les réorganiser et les exprimer dans un système de codes bien défini, et selon des algorithmes déterminés et, par suite, mieux contrôlables par le chercheur.

II. Champ conceptuel visé

Ayant déterminé dans l'introduction notre domaine de recherche, nous essaierons, dans ce paragraphe, de délimiter rapidement le champ conceptuel autour duquel se déroule la séquence que nous avons construite. "Un champ conceptuel est un espace de problèmes ou de situations problèmes dont le traitement implique des concepts et des procédures en étroite connexion" (Vergnaud 1981). C'est dans ce sens que nous envisageons de découper le champ conceptuel visé par notre séquence en deux familles de problèmes, qui seront étroitement liées.

II.1. Représentations graphiques d'objets spatiaux

Cette famille de problèmes relève du champ conceptuel de la géométrie projective (le système projectif). Deux types de représentation sont utilisés au cours de la séquence : la perspective cavalière (cf. § III. chap.I) et les systèmes de vues (vue de dessus, de face et de côté), présentant des aspects de ressemblance et des aspects de dissemblance qui seront explicités au cours des analyses ultérieures (cf. § II, chap. III). Donc, à certains moments de la séquence, les élèves envisageront les objets en fonction de points de vues, et selon des rapports projectifs.

Dans leur étude des champs conceptuels impliqués dans la lecture et l'écriture du dessin technique (le code, la technologie et la géométrie), Rabardel et Weill-Fassina (1984) ont défini le dernier "qui comprend aussi bien les aspects permettant une caractérisation

géométrique des objets que certains aspects relatifs à leur représentation (la géométrie du dessin qui règle les relations de l'objet aux plans de projection ainsi que les relations des plans de projection entre eux)" (p.8). Pour une étude approfondie et une bibliographie riche autour de ce champ, nous renvoyons à l'article écrit par les mêmes auteurs : Weill-Fassina, Rabardel (1985).

II.2. Repérage tridimensionnel

Cette famille relève du champ conceptuel correspondant à l'espace euclidien. Les élèves devront envisager les objets en fonction d'un système de référence. Au sein de ce champ, nous nous intéresserons en particulier à la construction par les élèves d'un système de repérage tridimensionnel, en prenant appui sur leurs connaissances à propos du système de référence euclidien bidimensionnel (acquises en cours de maths). Nous nous intéresserons donc aux rapports 2D / 3D.

Théoriquement, un point A de l'espace est déterminé par un triplet, mesures algébriques des projections du vecteur \vec{OA} sur les trois axes d'un repère orthonormé. A est défini donc par le triplet : $(\overline{OA_1}, \overline{OA_2}, \overline{OA_3})$ (fig.I.1).

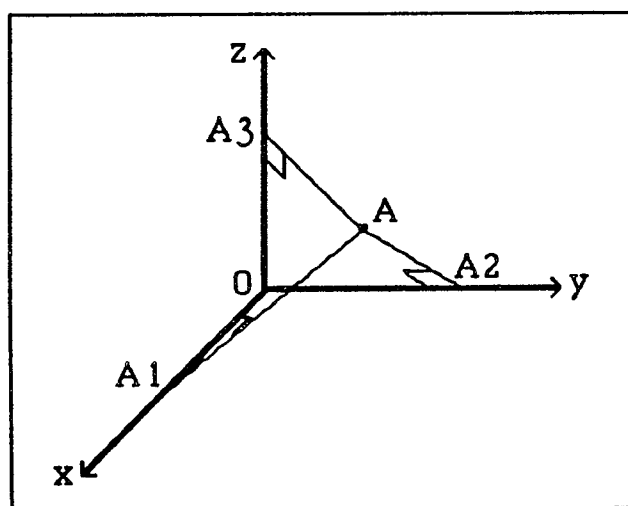


fig.I.1

Or, nous pensons qu'un tel repérage est très peu spontané. Nous nous intéresserons à deux autres manières de concevoir le système de projections d'un point dans l'espace tridimensionnel, dont nous essaierons de repérer l'existence et l'évolution chez les élèves au cours des analyses menées. Ces deux manières ramènent le repérage tridimensionnel à un système coordonnant un repérage bidimensionnel et un repérage unidimensionnel :

La première revient à projeter le point A sur un des plans du trièdre. Le repérage du point A revient alors à la conjonction de deux informations : ses coordonnées dans le plan de projection, et sa coordonnée selon l'axe qui lui est orthogonal.

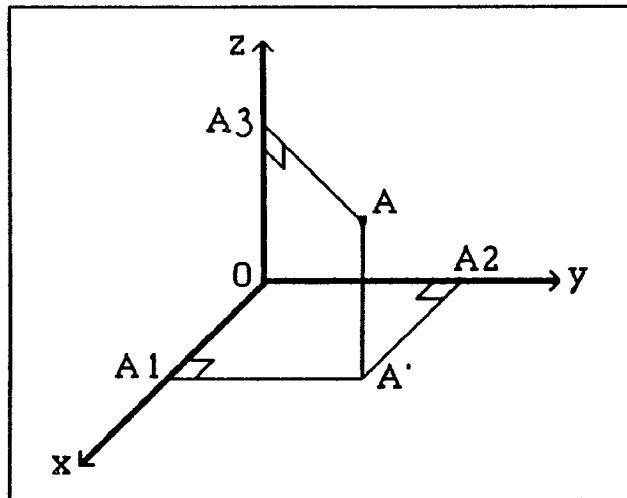


fig.I.2

Dans la fig.I.2, la projection a été effectuée sur le plan (\vec{Ox}, \vec{Oy}) , les coordonnées du point A sont données par :
(les coordonnées de A', $\overline{OA3}$)

A cette représentation du système de projections d'un point est sous-jacente une conception de l'espace comme étant une juxtaposition d'une direction linéaire à un plan qui lui est orthogonal.

Si la projection se fait, pour tous les points de l'espace, sur le même plan du trièdre, nous dirons que l'espace est anisotrope. Par contre, si les projections se font indistinctement sur l'un ou l'autre des plans du trièdre, nous dirons que l'espace est isotrope, dans le sens que ses trois directions principales sont équivalentes.

Une deuxième manière de se représenter le système de projections d'un point A revient à le projeter sur un des axes \vec{Di} du trièdre. Le repérage du point A revient alors à la conjonction de deux informations : sa coordonnée selon l'axe \vec{Di} , et ses coordonnées dans un repère bidimensionnel $(\vec{O'x'}, \vec{O'y'})$, obtenu en projetant le repère plan du trièdre orthogonal à \vec{Di} , dans un plan parallèle, passant par la projection de A sur \vec{Di} .

Dans la fig.I.3, la projection a été effectuée sur l'axe \vec{Oz} , les coordonnées du point A sont données par :

(les coordonnées de A dans $(\vec{O'x'}, \vec{O'y'})$, $\overline{OA_3}$)

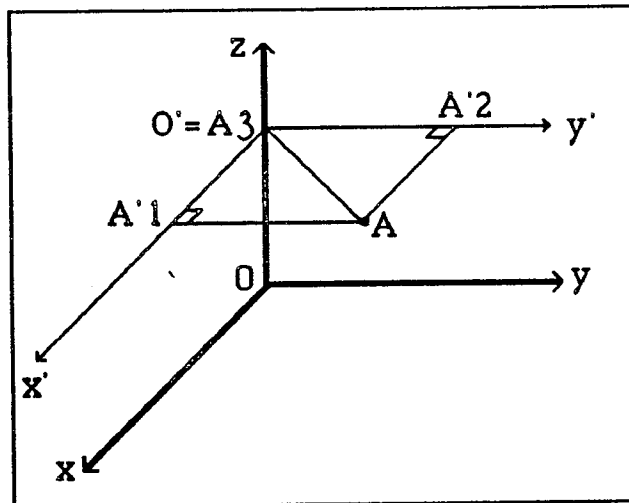


fig.I.3

A cette représentation du système de projections est sous-jacente une conception de l'espace que nous appellerons "conception stratifiée"; selon cette conception, l'espace sera stratifié par des familles de plans parallèles aux trois axes du trièdre. Notons que l'un des deux logiciels utilisés dans notre recherche est basé sur une telle représentation de l'espace.

Si, selon cette représentation, la projection se fait, pour tous les points de l'espace, sur le même axe du trièdre, nous dirons que l'espace est anisotrope. Par contre, si les projections se font indistinctement sur l'un ou l'autre des axes du trièdre, nous dirons que l'espace est isotrope, dans le sens que ses trois directions principales sont équivalentes.

Terminologie

Dans la suite, nous utiliserons le terme "directions principales" de l'espace pour désigner les directions des trois axes du repère euclidien classique. De manière plus détaillée, nous appellerons : "direction verticale" la direction de l'axe \vec{Oz} , "direction frontale horizontale" celle de l'axe \vec{Oy} et "direction normale" celle de l'axe \vec{Ox} .

Quant aux plans, nous utiliserons les termes suivants : "plan frontal" pour désigner le plan orthogonal à la direction unidimensionnelle normale (pour le trièdre euclidien, c'est le plan (Oy, Oz)). Pour le champ des représentations graphiques, le "plan frontal" sera le plan

de projection; "plan horizontal" pour désigner le plan orthogonal à la direction unidimensionnelle verticale; "plan normal" pour désigner le plan orthogonal à la direction unidimensionnelle horizontale frontale.

Par ailleurs, nous utiliserons des termes faisant référence à l'observateur des représentations graphiques : "droite", "gauche", "devant", "derrière", etc...

III. Type de représentation adopté

III.1. Enjeu de la perception :

Le choix du type de représentation à adopter dans la séquence est lié à l'objectif fondamental que nous nous sommes donné, comme moyen pour obliger les élèves à développer et mettre en oeuvre des règles de fonctionnement reposant sur des propriétés géométriques précises. Nous avons recherché alors un certain équilibre entre :

- * d'une part, la possibilité qu'auraient les élèves de trouver un appui figuratif dans la représentation graphique utilisée, mobilisant ce qu'il est convenu d'appeler "intuition géométrique",
- * d'autre part le but que nous nous sommes fixé de déstabiliser la confiance en la perception lors de l'interprétation ou de la production des représentations graphiques.

Ceci suppose que la perception sera, au premier abord, et à défaut d'autres moyens accessibles aux élèves, le moyen de contrôle. D'où le choix d'un type figuratif de représentation (selon la classification de Deforge (1981)) : la perspective.

Ce type de représentation peut procurer une prise d'appui figurative spontanée, en mobilisant des réactions mentales conditionnées par l'expérience et la culture visuelles, ce que ne peuvent procurer d'autres systèmes de codage semi-figuratifs ou non-figuratifs (vues, graphes, descriptions langagières, etc....); en effet, la perspective est "l'art de représenter sur une surface plane les objets visibles **tels qu'ils apparaissent** à une distance ou à une hauteur donnée à travers un plan transparent" *.

* Encyclopédie Diderot & d'Alembert, ou dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers. Par une société de gens de lettres, tome 25, 1778. Genève

D'autre part, la perspective répond à un besoin qu'a l'observateur "d'une représentation de l'espace constituée par un dessin dans lequel les trois dimensions principales : longueur, largeur et hauteur sont représentées par trois directions distinctes" (Audibert & Keita 1987)

III.2. Raisons du choix de la perspective cylindrique :

Par opposition à la perspective conique (Flocon & Taton 1963), le modèle de la perspective cylindrique s'est imposé : pour la première, deux facteurs déterminent la position de l'observateur (la direction de vue et la distance de l'observateur au plan de projection); le changement de l'un d'eux infère des modifications de la perspective. La dernière, par contre, supposant un point de vue imaginaire rejeté à l'infini, n'est affectée que par la direction de vue. Elle implique donc une limitation des modifications inférées par les déplacements du point de vue : à une direction de vue donnée, on a une seule représentation en perspective cylindrique d'un objet donné.

D'autre part, la perspective cylindrique étant une transformation affine qui consiste à projeter la scène sur un plan par des projetantes parallèles, elle conserve le milieu des segments, le parallélisme des droites et les rapports (et par suite l'égalité) des mesures de segments parallèles. Un choix encore plus spécifique de la perspective adoptée, en relation avec le monde d'objets impliqués, préviendra le cas où des droites ou segments de la configuration sont parallèles à la direction de projection (donc où la projection se réduit à un point) : la perspective cavalière frontale; pour cette perspective, le plan de projection est parallèle à une face de l'objet, tandis que la direction de projection est inclinée par rapport à ce plan. Plusieurs raisons ont guidé ce choix :

III.3. Pourquoi la perspective cavalière ?

Cette perspective est par excellence le moyen de représentation adopté dans les manuels scolaires, la pratique de l'enseignement et les ateliers de formation technique et professionnelle; elle présente un modèle culturel fort, fait qui compense son non-réalisme en tant que cas limite d'une perspective conique, où le point de vue est rejeté à l'infini. Ce non-réalisme va dans le sens des critères de notre choix : contrairement à la perspective conique, c'est une "pure abstraction" (Bautier & al. 1987); moyen conventionnel de représentation, elle nécessite, en plus de l'interprétation perceptive, une connaissance d'un ensemble de codes et de propriétés géométriques.

D'autre part, et du point de vue de quelques études en psychologie, "Si l'on suit néanmoins le développement de la représentation de l'espace tridimensionnel, on s'aperçoit que les sujets, à partir de 12 ans, entrent dans la perspective cavalière (orthonormée) et ne peuvent concevoir l'espace de l'objet qu'en perspective." (Dolle & coll. 1985)

La perspective cavalière frontale conserve la vue de face de l'objet : les dimensions sont représentées en grandeur réelle à l'échelle 1, les angles sont conservés. Notre séquence accorde une importance particulière à la vue de face, aux angles droits et au parallélisme aux axes (ou aux plans) d'un trièdre trirectangle d'éléments de la représentation.

Du point de vue pratique, le code de la perspective cavalière peut se réduire à quelques règles basées sur des connaissances disponibles chez les élèves et faciles à mettre en oeuvre :

- 1) Les faces parallèles au plan de projection ne sont pas déformées : Les angles sont conservés, les arêtes sont en grandeur réelle (si le dessin est à l'échelle 1).
- 2) Les arêtes perpendiculaires au plan du tableau sont représentées par des fuyantes obliques parallèles.
- 3) Les dimensions portées sur les fuyantes sont proportionnelles aux dimensions réelles.

Différentes perspectives cavalières se distinguent par, au moins, l'une des deux caractéristiques suivantes :

- 1) Le rapport " r " de proportionnalité entre les mesures sur les fuyantes et les dimensions réelles (fig.I.4)

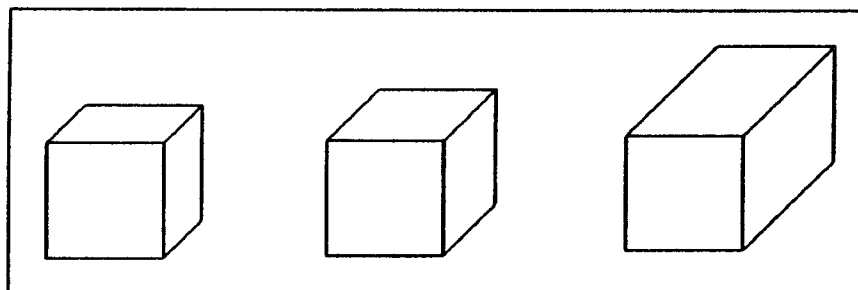


fig.I.4

- 2) L'angle " α " formé par la fuyante et l'horizontale. Selon les intervalles dans lesquels se situe cet angle, quatre combinaisons sont possibles entre (droite et gauche) et (dessus et dessous) (fig.I.5).

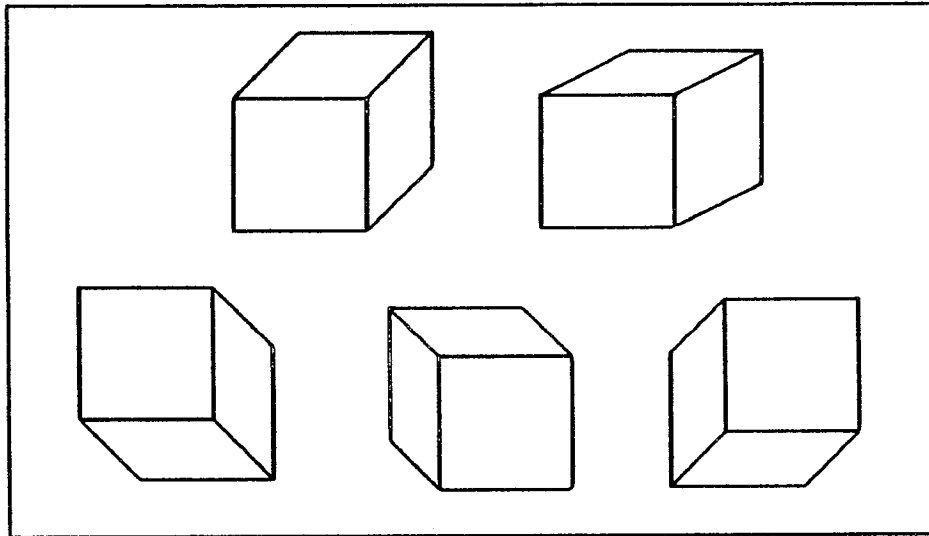


fig.1.5

Selon les différentes valeurs qu'on peut donner à ces deux variables, on trouve différents types de perspective cavalière frontale. La perspective cavalière normalisée est celle qui est utilisée le plus souvent, et qui présente un modèle stéréotypé dans différentes activités : enseignement, dessin technique,... Pour cette perspective, le rapport " r " vaut 0.5, l'angle " α " vaut 45° . Notons que pour la représentation du cube, toutes les arêtes distinctes sont représentées par des segments distincts et que la seule ambiguïté qu'elle présente réside dans le fait que, dans le cas d'un cube transparent, la représentation peut être interprétée de deux manières différentes, selon le carré considéré comme représentant la face de devant. Une telle représentation renvoie donc à deux référents que différencient deux directions de vue différentes (fig.1.6).

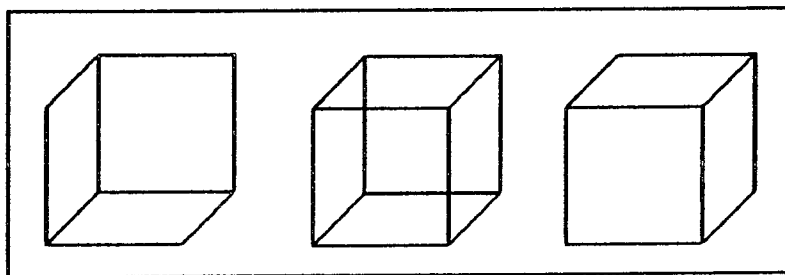


fig.1.6

C'est par rapport à cette perspective que nous allons situer celle adoptée dans ce travail. Le critère de comparaison sera le degré d'ambiguïtés perceptives introduites, critère lié aux objectifs de cette étude visant à dévaluer la perception intuitive comme seul moyen de contrôle dans la lecture ou dans la construction des représentations graphiques.

III.4. Caractéristiques de la perspective adoptée

Nous avons adopté un type particulier de perspective, ayant les caractéristiques suivantes, que nous présentons en nous basant sur l'exemple du cube : (fig.I.7)

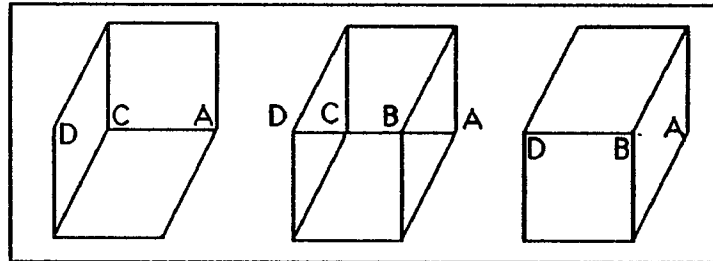


fig.I.7

1) perspective cavalière frontale, présentant au moins l'ambiguïté évoquée ci-dessus
 2) ambiguë par l'alignement des segments AC et BD, représentant deux arêtes situées dans deux plans frontaux différents, et à des niveaux de hauteur différents. Plusieurs conséquences en découlent :

i) les quatre points A, B, C et D, qui représentent quatre sommets situés, deux à deux, à deux niveaux différents de profondeur, sont alignés

ii) le segment BC joue un rôle bivalent, dans la représentation du cube transparent : il fait partie des deux arêtes AC et BD; par conséquent, il n'est effacé dans aucune des deux représentations correspondantes de cube opaque.

iii) la longueur de la fuyante est plus grande que celle des horizontales et des verticales

3) les points B et C partagent le segment AD en trois segments de même longueur

III.5. Ambiguïtés de la perspective adoptée

La première ambiguïté introduite par cette perspective se situe au niveau de sa particularité (caractéristique 2,iii) par rapport aux modèles culturels de perspectives de cubes que procure l'expérience. En effet, elle correspond à un cas où "l'œil balaie un champ de vision plus large" que dans les conditions usuelles d'observation (Bautier & al. 1987). La droite de projection est trop inclinée par rapport au plan de projection. Cette propriété implique une dévaluation (voulue) de la perception intuitive immédiate comme moyen d'interprétation, au profit de la connaissance des codes et des règles géométriques correspondants à la perspective. C'est contre les modèles perceptifs habituels que vont évoluer et s'organiser ces connaissances.

D'autre part, et d'après les caractéristiques 2.i et 2.ii, la lecture de la perspective exige un travail mental pour surmonter l'impression d'alignement qu'impose la ligne AD, pour dédoubler mentalement le segment BC, et pour dissocier les segments AC et BD de façon à les appréhender à deux niveaux de profondeur différents.

Un autre niveau d'ambiguïté est introduit lorsque la configuration représentée contient plus d'un cube. En effet, le degré d'ambiguïté peut alors dépasser la "somme" de celles causées par chacun des cubes pour en impliquer d'autres, provenant de coïncidences et d'alignements entre différents constituants de ces cubes. Prenons un exemple (fig.I.8) :

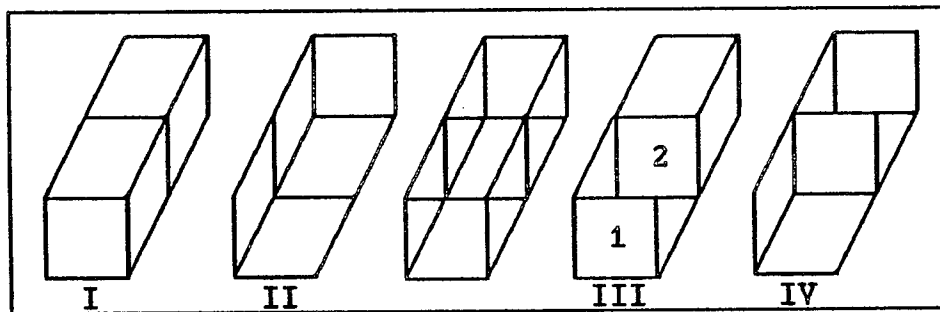


fig.I.8

Le dessin du milieu est la représentation d'un assemblage de deux cubes transparents qui, par des effacements de segments adéquats peut donner lieu à plusieurs représentations possibles d'assemblages de deux cubes opaques. Dans le dessin III, par exemple, le point représentant le sommet "derrière, en-bas, à droite" du cube (1) coïncide avec celui représentant le sommet "devant, en-bas, à droite" du cube (2). De même, le point représentant le sommet "derrière, en-haut, à gauche" du cube (1) coïncide avec celui représentant le sommet "devant, en-haut, à gauche" du cube (2). Il n'en est pas de même pour la représentation de la même configuration en perspective normalisée (fig.I.9) :

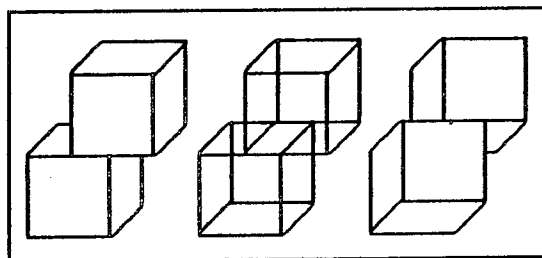


fig.I.9

Un autre niveau d'ambiguïté est encore introduit par la caractéristique 3 : du fait que les points B et C sont les milieux respectifs des segments AC et BD dans la représentation d'un cube, la juxtaposition de plusieurs cubes donne lieu à des coïncidences et des

alignements supplémentaires : la fig.I.10 présente l'exemple d'un assemblage de trois cubes dont la composition est donnée (en haut) par la perspective cavalière normalisée "opaque" et la vue de dessus accompagnée du nombre de cubes de chaque pile; en bas, sont données les représentations de cet assemblage avec trois perspectives "transparentes" (en bas) : la perspective normalisée (à gauche), une perspective à alignements quelconque (au milieu) et la perspective à alignements adoptée (à droite). Les points correspondants sont désignés, dans les trois représentations, par la même lettre.

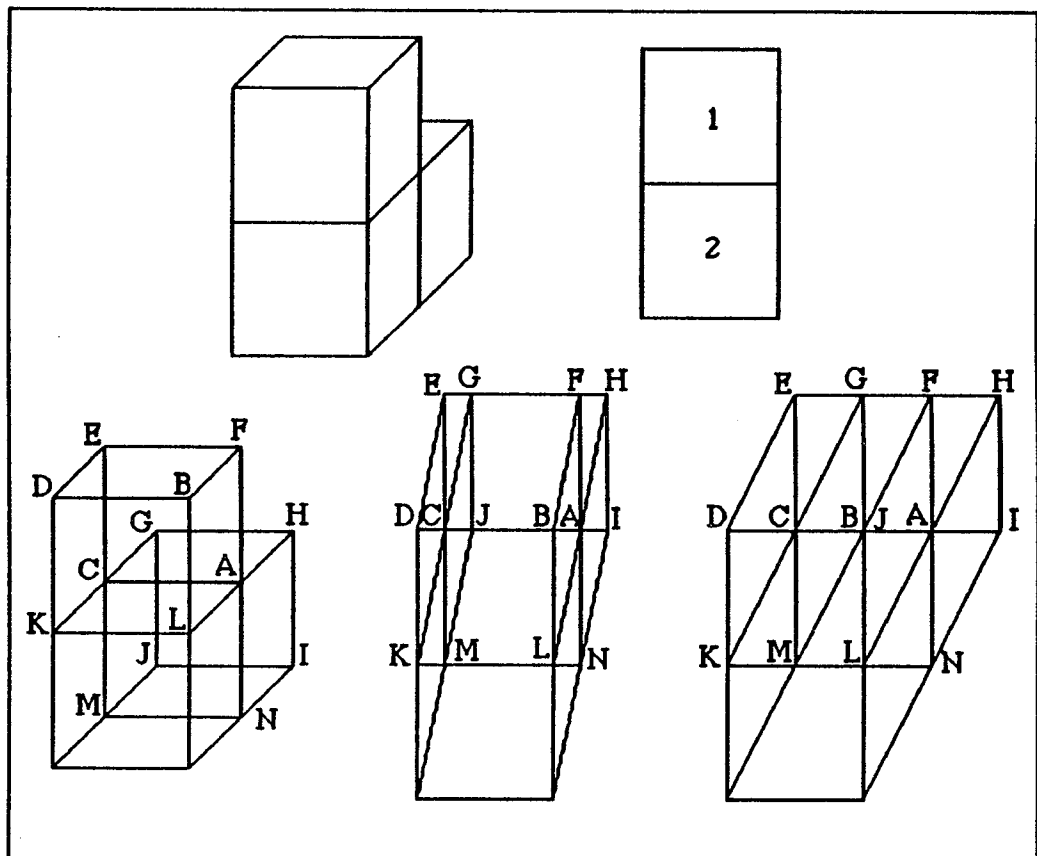


fig.I.10

Les deux représentations avec les perspectives à alignements se caractérisent, par rapport à la perspective normalisée, par des alignements comme ceux des segments : AC, BD et IJ (représentant des arêtes situées à trois niveaux différents de hauteur et de profondeur), EF et GH (représentant les arêtes "derrière, en-haut" de deux cubes situés à des niveaux différents).

La perspective adoptée se caractérise, par rapport à la perspective à alignements quelconque, par la coïncidence des deux points B et J. Ce fait revient à la caractéristique 3 (propriété du milieu). Il donne lieu à un alignement supplémentaire des deux segments verticaux GJ et BL, d'où le segment qui traverse verticalement le dessin.

IV. Variables de la séquence

Relativement au champ conceptuel visé par cette séquence, nous avons essayé de créer des conditions particulières pouvant favoriser l'évolution du système des connaissances chez les élèves. Ces conditions sont, en partie, définies par des valeurs déterminées de variables de la séquence. Trois variables globales seront contrôlées le long de cette séquence, en vue de faire évoluer le processus d'apprentissage : la modification de leurs valeurs fera changer les caractéristiques des stratégies de solution (coût, validité, complexité,...) et affectera leur hiérarchie. Ces variables sont :

- Le type de manipulation : matérielle ou symbolique
- Le logiciel utilisé : Mac Paint ou Mac Space
- Le monde d'objets concerné

IV.1. Le type de manipulation : matérielle ou symbolique

L'ordinateur, élément présent tout au long de l'activité des élèves dans les trois premières situations, est absent dans la quatrième. Son absence modifie la situation, non seulement du point de vue pédagogique et relationnel, mais aussi du point de vue du monde objectif dans lequel les tâches sont réalisées : alors que le traitement se faisait "sur et à l'aide de" représentations symboliques dans les premières situations, il se fait, dans la dernière, directement sur des objets du micro-espace.

On peut parler là des deux types de manipulation mis en évidence par Caron-Pargue (1981) : "une manipulation matérielle, portant directement sur l'objet : elle occasionne un afflux d'informations, qui entraîne une destruction des représentations et augmente leur mobilité; et une manipulation symbolique, portant sur un substitut de l'objet; elle opère un filtrage des informations, et les organise selon la structure du système symbolique mis en jeu" (Caron-Pargue, 1981, p.6).

Dans notre séquence, l'objectif est de faire évoluer les élèves à travers deux types de tâche correspondant aux deux types de manipulation : pour réaliser les premières, ils ont à détecter la structure des systèmes symboliques mis en jeu et à se construire des représentations de ces structures; pour réaliser la dernière, ils ont à réorganiser l'afflux d'informations qu'elle présente de par les possibilités de manipulation matérielle qu'offrent les objets du micro-espace, de façon à pouvoir les exprimer à l'aide des structures déjà construites.

IV.2. Le logiciel utilisé : Mac Paint ou Mac Space

Dans l'ordre et l'enchaînement de leur utilisation, les deux logiciels utilisés présentent deux milieux avec lesquels les élèves interagissent. Nous nous intéresserons aux phénomènes de transition et d'adaptation que nous estimons intéressants au niveau de l'interaction avec ces logiciels. Pour cela, nous avons trouvé utile de comparer les deux environnements, comme étant deux valeurs d'une variable importante de la séquence.

Le premier logiciel (Mac Paint) permet un traitement de figures planes, à l'aide d'outils graphiques assez proches de ceux qu'on utilise dans une situation habituelle de dessin : un crayon, une gomme, une règle,... etc, le deuxième (Mac Space) permet d'obtenir, dans une fenêtre de contrôle non accessible au traitement, la perspective cavalière d'une configuration, à partir de ses trois vues que l'on peut construire dans trois autres fenêtres.

L'importance de la transition d'un logiciel à un autre ne se réduit pas aux seules différences dans la logique de fonctionnement des deux logiciels et de leur niveau d'interactivité (cf. §III du chap.III), mais elle prend encore de l'importance au niveau de deux conceptions différentes des dessins : dans l'environnement du logiciel Mac Space, les dessins sont reconnus comme des représentations d'objets spatiaux, à travers un lien permanent entre espace physique et espace graphique, géré par le logiciel : les rapports spatiaux entre les constituants d'une configuration (sommets, arêtes et faces) sont reconnus et préservés. Tandis que, dans l'environnement de Mac Paint, ce lien absent doit être restauré par les élèves. C'est donc la différence fondamentale, schématisée par la fig.I.11, entre :

* un environnement où les transformations effectuées sur un dessin ou une portion de dessin traduisent des transformations subies par l'objet lui-même, donc, où le dessin est opératif (Mac Space),

*un autre, où les modifications du dessin peuvent se traduire en une perte des caractéristiques spatiales et des liens de représentativité entre le dessin et la configuration spatiale, donc, où le dessin n'est que figuratif (Mac Paint).

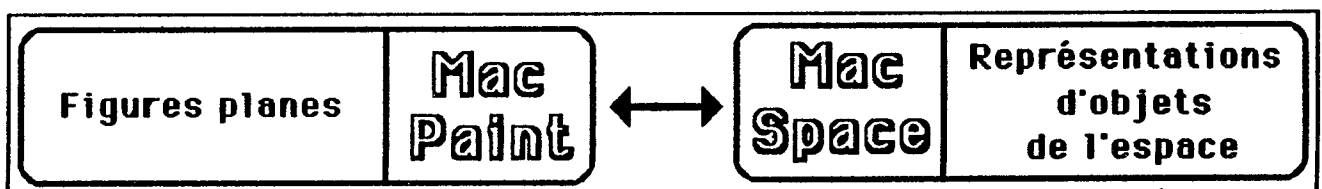


fig.I.11

D'autre part, le passage d'un logiciel à l'autre au cours de la séquence est, en fait, le passage entre deux ensembles de contraintes, imposées par deux conceptions différentes des objets :

Dans Mac Paint, la conception des représentations est fondée sur le traitement direct du dessin en perspective; Dans Mac Space, la conception des représentations est fondée sur une géométrie particulière, la "géométrie des facettes" (cf. §II du chap.III) : l'objet élémentaire constructible et reconnu par le logiciel est la facette; l'accès au dessin en perspective est interdit et, à cause de l'absence de l'outil graphique "règle" et de l'impossibilité de dessiner des points isolés, la construction dans les trois fenêtres (vue de dessus, vue de face et vue de côté) ne se fait que par facettes. Donc, deux conceptions différentes des objets sont envisagées, contrôlées par deux ensembles différents de contraintes que résume le tableau suivant :

	Mac Paint	Mac Space
1-Accès à la représentation en perspective	1	0
2-Possibilité de gommer	1	0
3-Possibilité de dessiner des lignes droites	1	0
4-Outils de construction globale	0	1
5-Système de coordonnées et mesures	0	1
6-Translation globale (du dessin du solide)	1	0
7-Duplication globale (du dessin du solide)	1	0

Tableau représentant les traitements possibles (ou non) au sein de chacun des deux logiciels

IV.3. Le monde d'objets concerné

Plusieurs catégories d'objets de l'espace ont été concernées par les situations de la séquence. Le passage d'une catégorie à l'autre vise, en fait, à faire évoluer les conceptions mathématiques impliquées, et à l'instauration de structurations différentes de l'espace en vue de la construction de systèmes de repérage particuliers. Nous avons cherché à confronter les élèves avec des objets assez familiers et dont ils ont une certaine connaissance; il n'empêche que la manière dont ces objets sont impliqués dans la situation peut poser des problèmes qui exigent de la part des élèves une construction de solution.

Deux catégories principales ont été choisies, qui comportent chacune des sous-catégories : les configurations de solides et les configurations de surfaces.

IV.3.1. Les solides

Outre les différences qu'il présente au niveau conceptuel, cet ensemble se distingue de l'autre, au niveau pratique, par le fait que les objets qui en font partie sont constructibles, dans le cadre de Mac Space, à l'aide des outils globaux de construction; il n'empêche qu'ils peuvent être construits par la méthode analytique, face par face, stratégie longue à mettre en oeuvre.

Deux sous-familles ont été considérées : celle des pavés droits, qui a été prise en compte surtout dans la phase d'initiation, et celle des assemblages de cubes que nous analysons dans ce qui suit :

Assemblages de cubes

La configuration "cube" est une unité constitutive du monde d'objets impliqués dans une partie de notre séquence. Disposées à l'horizontale, à la verticale et en profondeur, ces unités constituent une première mise en ordre de l'espace vécu; les objets utilisés, qui sont des assemblages de cubes (réels ou virtuels) de même taille, relèvent du micro-espace et procurent donc des possibilités de manipulation; déjà utilisés dans d'autres recherches autour du champ conceptuel relatif au repérage (Bessot & Eberhard 1982, 1983, 1986, 1987; Polo 1987), ces objets renforcent cette structuration en trièdre de l'espace physique par la prise en compte d'alignements remarquables dans 3 directions orthogonales deux à deux. De plus, ces objets permettent de fonder un quadrillage de l'espace et d'accéder à des systèmes de coordonnées entières.

Ce choix mène à la banalisation de l'aspect métrique : les problèmes de mesure sont réduits, par la nature même des objets considérés, à des problèmes de dénombrement.

Dans le cadre de ce monde d'objets, on peut choisir encore des valeurs de variables qui sont aussi pertinentes, dans le sens qu'elles peuvent influencer sur l'évolution des stratégies des élèves :

* variables relevant de la nature des cubes utilisés (fig.I.12) :

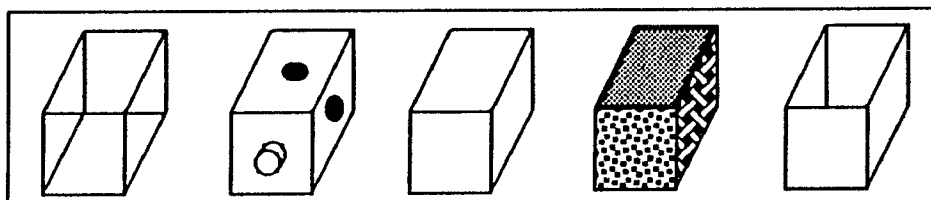


fig.I.12

- cubes accrochables ou non; dans le cas où les cubes sont accrochables, une condition est imposée, concernant la composition de l'assemblage : les faces de cubes adjacents doivent coïncider
- réels ou virtuels, ce qui revient à la différence entre manipulation matérielle et manipulation symbolique
- peints ou sans peinture (dans le cas de cubes peints, l'anticipation est beaucoup plus importante avant de gommer, car la réparation des motifs de peinture est beaucoup plus coûteuse)
- degré de transparence : cubes en fil de fer, en verre, en bois, ou boîtes cubiques sans couvercle.

* variables relevant de la configuration :

- nombre des cubes : un, deux ou plusieurs cubes. Rappelons que, dans une représentation graphique, les ambiguïtés perceptives résultant de la juxtaposition de plusieurs cubes ne se réduisent pas à la somme de celles impliquées par chacun des cubes; elles la dépassent pour mettre en jeu des problèmes provenant de coïncidences et d'alignements entre les représentations des différents constituants de la configuration (cf. fig.I.10).

- caractéristiques topologiques de l'assemblage : elles jouent un rôle, d'une part dans le passage d'une règle d'action à une autre, au cours de la première situation-problème surtout, et, d'autre part, dans le degré d'ambiguïtés perceptives. Ceci ne se présente pas dans le cas de deux cubes disposés selon l'horizontale frontale).

- empilements ou non, variable influente dans le choix de la vue privilégiée lors de la construction de la représentation de l'assemblage avec Mac Space

- avec ou sans creux (pour la même raison)

IV.3.2. Les surfaces

Pour cette famille d'objets, et contrairement aux solides, la construction à l'aide des outils globaux est impossible au sein de Mac Space; ils ne peuvent être construits que facette par facette; ceci, au niveau pratique; analysons le niveau conceptuel :

a) Surfaces en escaliers :

Elles présentent des surfaces rectangulaires horizontales à des niveaux de hauteur équidistants (marches), et deux familles de surfaces rectangulaires verticales à des niveaux équidistants, dans deux directions orthogonales (contre-marches et bordures) (fig.I.13); ils sont structurés, eux aussi, selon la structure du repère euclidien : chaque composant (marche, contre-marche, bordure) est parallèle à l'un des plans du trièdre trirectangle.

Ces objets doivent être gérés dans le cadre d'un système de mesure. Trois dimensions les caractérisent et les différencient les uns des autres : longueur et largeur d'une marche, hauteur de la contre-marche. Objets virtuels, ils ne seront accessibles qu'à travers leurs représentations.

A l'intérieur de ce monde d'objets, deux variables ont été gérées (fig.I. 13) :

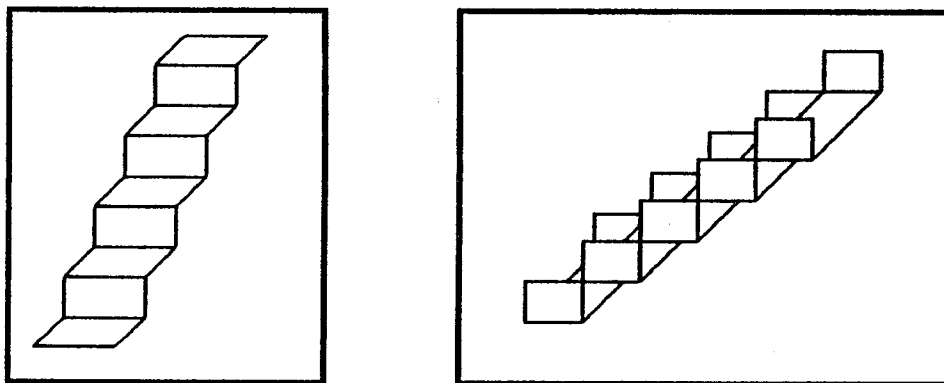


fig.I.13

- position : nous avons choisi de lui affecter deux valeurs : de face ou de côté
- avec ou sans bordure, ce qui revient, d'une part, à l'existence ou non de faces ayant le même rectangle comme projection orthogonale, et d'autre part à une différence dans le niveau des ambiguïtés perceptives que présente la représentation graphique de l'escalier considéré (cf. § I.4 du chap.VI).

b) Maquettes à surfaces rectangulaires :

Objets matériels en carton, manipulables, ils constituent des configurations composées exclusivement de surfaces rectangulaires (fig.I.14). Ces objets marquent un pas de plus vers la nécessité d'un système de mesure et un système de coordonnées plus élaborés, vu l'abondance des dimensions impliquées et l'aspect aléatoire de leur composition (relativement à la régularité qui caractérise les escaliers et les assemblages de

cubes). L'espace de ces objets peut être non-isotrope, par la présence d'une face privilégiée formée par un rectangle plus grand que les autres, et par la possibilité de poser l'objet sur la table, ce qui induira des systèmes de référence différents, selon les valeurs qu'on affecte aux variables à l'intérieur de ce monde d'objets; les choix relatifs à ces variables seront développés dans § I.2.4 du chap. VII

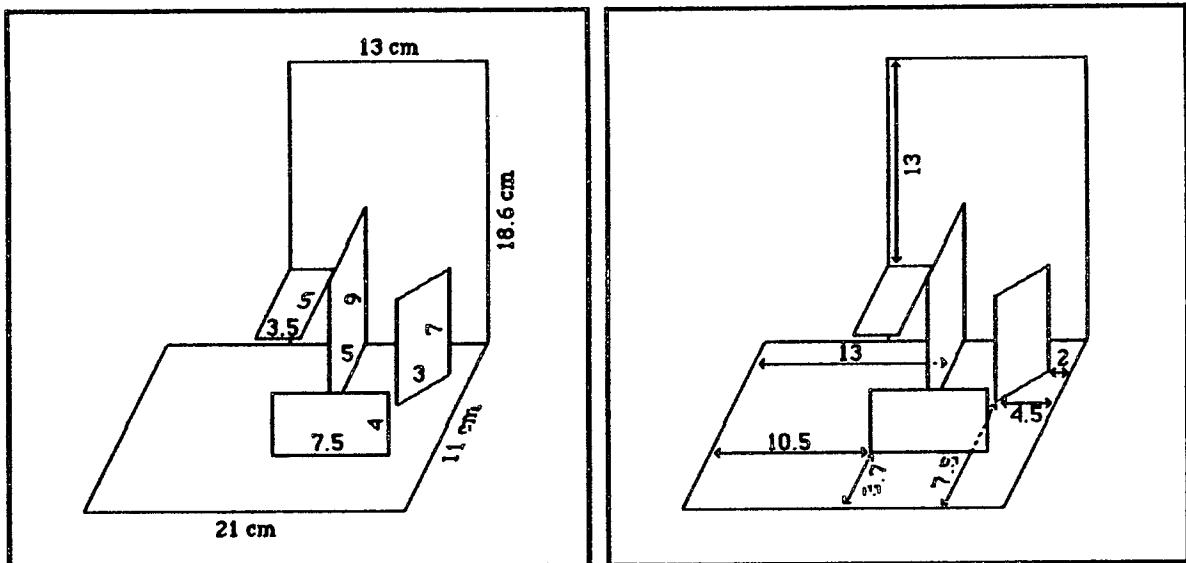


fig.I.14

IV.3.3. Entre les solides et les surfaces :

En dépit de leur ressemblance, par le fait qu'ils ne présentent que des facettes parallèles ou perpendiculaires entre elles (à l'exception de la dernière famille), les deux types d'objets (solides et surfaces) présentent un certain nombre de différences fondamentales, donnant lieu à des contraintes :

- Un objet du deuxième type ne peut être décomposé que face par face, tandis qu'un assemblage de cubes peut être décomposé de plusieurs manières (cube par cube, coupes, faces, etc....)
- Dans le cas d'un assemblage de cubes, le problème de mesure est ramené à un problème de dénombrement, vu sa structure régulière, caractérisée par des équidistances dans les trois directions principales de l'espace. Dans le cas d'un objet du deuxième type, cette équidistance n'est plus vérifiée, ce qui rend nécessaire un système de mesure.
- Projeter orthogonalement l'ensemble des faces est une application injective dans le cas d'un escalier, et non-injective dans le cas d'un solide. Cette caractéristique aura de

l'importance dans ses implications au niveau des vues des objets : dans le cas d'un escalier par exemple, un rectangle présent dans une des vues ne pourra représenter qu'une seule face rectangulaire faisant partie de la configuration spatiale, univocité qui n'est pas vérifiée dans le cas des solides.

V. Déroulement de la séquence

Analyse a priori du processus d'apprentissage

V.1. Composition de la séquence :

En parlant des situations didactiques, Brousseau affirme qu' "il faudra les considérer à l'intérieur d'une chaîne ou d'un processus formant une petite genèse artificielle du concept, ce processus étant autant le but de l'enseignement que son moyen" (Brousseau, 1984, p.10). C'est ainsi que nous concevons le but de construction de la séquence explicitée ci-après.

Dans ce qui suit, nous exposerons les différentes situations-problèmes que comporte la séquence d'enseignement expérimentée dans cette recherche. Notre but est de mettre en relief l'évolution visée du processus d'apprentissage à travers des situations dont les objectifs sont enchaînés de façon à mettre en oeuvre plusieurs conceptions de l'espace, et une évolution à travers différents types de repérage, selon le milieu : physique (matériel dont disposent les élèves), informatique ou graphique dans lequel se déroule la réalisation de la tâche. La séquence comporte :

- 1) **des situations annexes** aux situations de base citées ci-dessous, dont les objectifs sont : soit **exploratoires**, visant à tester des conceptions initiales ou des stratégies de résolution existantes chez les élèves, soit **préparatoires** aux situations de base, visant à instaurer un langage commun ou à contextualiser certaines situations (mondes d'objets particuliers, par exemple (cf. III.2 du chap.II)).
- 2) **des phases d'initiation** au type d'interaction imposé par le matériel (Macintosh de "Apple") et à l'utilisation des deux logiciels impliqués (Mac Paint et Mac Space). Ces situations ne seront pas considérées comme annexes, car elles auront un statut particulier, lié à l'hypothèse d'une interaction entre l'apprentissage du fonctionnement du dispositif et celui des concepts géométriques impliqués;
- 3) **deux situations-problèmes** où les élèves sont en situation de traitement, à l'aide de **Mac Paint**, de représentations graphiques de configurations spatiales, pour aboutir à des représentations d'autres configurations (situations d'action);

4) une situation-problème où les élèves sont en situation de construction, à l'aide de Mac Space, de représentations graphiques de configurations spatiales comportant soit des solides, pavés ou cubes, soit des surfaces rectangulaires (situation d'action);

5) une situation-problème de conception / réalisation que nous appellerons situation de communication (pour la distinguer des situations précédentes où il y a interactivité avec la machine). Au cours de cette situation, les élèves ont, en un premier temps, à produire, en l'absence de l'outil informatique, et dans l'interdiction d'utiliser des dessins, un message décrivant un objet matériel composé de surfaces rectangulaires (situation de formulation); en un second temps, ils ont à décoder le message produit par d'autres élèves pour reconstruire l'objet correspondant (situation d'action et de validation);

6) des phases collectives, à la fin ou au cours de chacune des situations; parmi ces phases, figurent des phases de bilan et des phases d'institutionnalisation (distinction mise en évidence par Grenier, 1988, pp. 313-315). Au cours des phases de bilan, les propositions de solution mises en œuvre par les élèves sont portées à l'ensemble des élèves pour être confrontées, discutées et validées sous la direction du maître; au cours des phases d'institutionnalisation, l'enseignant donne un statut particulier à une (ou à quelques-unes) de ces propositions, qui aurait été approuvée par la communauté, et qui, par hypothèse, serait basée sur les connaissances à retenir. Il dégage, ensuite, le savoir mis en jeu, en le situant comme outil de solution, puis comme objet de connaissance exportable et réutilisable;

Les analyses cliniques menées au sein des chapitres suivants (à partir du chap. III) porteront sur les deux situations que nous considérons comme les plus représentatives des objectifs de cette étude :

* la première est celle concernant les représentations graphiques à l'aide de Mac Space, y compris la phase d'initiation et de familiarisation à l'utilisation de ce logiciel (chap. III). Selon les différentes valeurs attribuées aux variables impliquées, nous considérerons qu'il s'agit d'une sous-séquence, comportant plusieurs situations : construction d'un pavé droit (chap. IV), construction d'assemblages de cubes (chap. V) et construction de surfaces en escalier (chap. VI).

* la deuxième est la situation de communication, de conception / réalisation; elle comporte, à son tour, deux phases : la phase de codage et la phase de décodage et d'évaluation (chap. VII).

Pour ces deux phases, nous mènerons une analyse clinique, assez détaillée, de l'évolution des conceptions des élèves à travers les différentes situations, et de leur interaction avec le milieu (au sens de Brousseau 1986). Cette analyse prendra comme sujets trois binômes choisis pour leur représentativité (cf. fin du chap.III).

Quant aux deux situations de traitement graphique à l'aide de Mac Paint, déjà exposées à différentes occasions (Osta 1987a, 1987b, 1987c), nous en ferons une analyse sommaire qui donne un bilan des résultats obtenus et un constat de l'état des conceptions des élèves à la fin de chacune de ces situations (chap. II); ceci, dans le but de préserver l'unité et la continuité du processus.

V.2. Objectifs et modèles de connaissance visés par le processus

Tout en renvoyant aux analyses plus approfondies des tâches proposées au cours de chacune des situations-problèmes de base, explicitons-en les objectifs, les modèles de connaissance visés et la façon dont ces modèles s'enchaînent au cours d'une coupe longitudinale de la séquence. L'objectif général est que les élèves construisent un type de repérage par rapport à un repère euclidien.

V.2.1. Phases d'initiation

Nous leur avons accordé une place particulière parmi les situations annexes dont nous avons parlé dans l'énumération précédente. Ceci est lié à notre choix concernant le statut de l'outil informatique dans cette séquence (cf. § I) et aux questions auxquelles cette recherche est censée répondre, en ce qui concerne la part, dans le processus d'apprentissage, des représentations fonctionnelles (Leplat 1985) du fonctionnement des logiciels que les élèves se construisent progressivement, et en ce qui concerne l'interaction étroite entre deux processus d'apprentissage : celui des contenus mathématiques visés et celui du mode (ou d'une partie du mode) d'utilisation du logiciel concerné.

Cette dualité impose, dans le choix des activités préparatoires à l'utilisation des logiciels, un enjeu lié aux priorités des objectifs à atteindre :

* étudier, d'une façon nette, les conceptions initiales des élèves à propos des capacités et du fonctionnement des logiciels, au cours d'un premier contact plus ou moins directif.

* éviter, le plus possible, les interférences de problèmes de traitement informatique (manipulation de la souris, gestion de fichiers et de documents informatiques, premier contact avec les possibilités offertes) avec les problèmes liés aux contenus conceptuels géométriques et à l'interaction plus spécifique avec les logiciels.

* délimiter, pour les élèves, le champ d'utilisation des fonctions utiles des logiciels, défini par la nature des problèmes posés et par l'analyse a priori des stratégies possibles de leur résolution. Cet objectif est orienté dans le but d'éviter l'arborescence riche et complexe des logiciels (Mac Space surtout, qui a plusieurs niveaux de traitement, donnant lieu à une combinatoire des applications permises, rendant les possibilités de traitement très grandes et le champ d'essai trop large (cf. §III du chap.III)). Cette délimitation du champ d'application ne voudra pas, pourtant, imposer l'utilisation d'outils particuliers qui orienteraient vers des stratégies particulières, ni interdire l'utilisation d'outils actualisant d'autres stratégies possibles.

Cet enjeu nous met face à la question que "posent effectivement les concepteurs et les formateurs, sur la manière de rédiger un manuel d'utilisation, un bon système "Help" ou de choisir le contenu d'une formation, etc. De façon générale, quelle représentation opérationnelle créer chez l'utilisateur et comment?" (Bisseret 1983, p.198). Si cette question est posée par les concepteurs et les formateurs dans l'objectif d'aboutir à une utilisation optimale des capacités d'un système informatique et à un apprentissage mieux contrôlé et plus efficace du fonctionnement du système, cette recherche la pose, dans la phase d'initiation, en visant d'autres objectifs : l'apprentissage de concepts mathématiques, accompagné et soutenu par une évolution d'un apprentissage du fonctionnement des logiciels utilisés. Les décisions prises au cours du choix des activités d'initiation et des informations à recueillir d'après cette étape prennent en considération ces objectifs (cf. chap.III).

V.2.2. Première situation-problème

La tâche consiste à construire, en utilisant Mac Paint et à partir de la représentation disponible d'un cube, la représentation d'un assemblage de cubes, placé sur la table. Les cubes utilisés sont accrochables à l'aide de têtes et de trous situés au centre des faces. Ceci contraint les assemblages par une condition supplémentaire : "les seules portions de faces que deux cubes peuvent avoir en commun sont des faces entières".

Cette situation a deux objectifs :

* la prise de conscience de l'existence, lors de la représentation graphique d'objets spatiaux, d'éléments qui seront cachés par d'autres constituants,

* la construction d'un type de repérage topologique, lié à l'objet.

La réalisation de l'un ou de l'autre de ces objectifs sera favorisée par le choix adéquat des valeurs des variables (cf. § IV), ce qui a donné lieu à deux modalités que différencient la nature du cube représenté (peint ou non) et la composition de l'assemblage à construire (ses caractéristiques topologiques) (cf. fig.I.15).

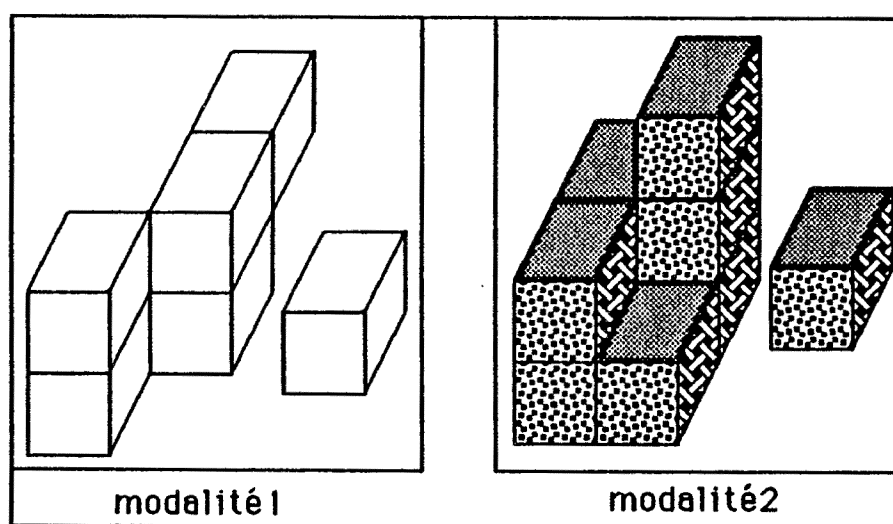


fig.I.15

C'est surtout à travers la deuxième modalité que la situation vise la construction, par les élèves, d'un type de repérage topologique, lié à l'objet (§ II.1 du chap.II). En effet, cette deuxième modalité augmente le coût de stratégies basées sur l'effacement d'arêtes, ce qui oriente vers d'autres stratégies. Le type de repérage visé est sous-jacent à une stratégie de dépassement, en organisant la construction de l'assemblage selon un ordre précis dans chacune des trois directions de l'espace. Une anticipation doit être faite par les élèves, pour déterminer le cube de départ et l'ordre de positionnement des autres, selon ces directions.

V.2.3. Deuxième situation-problème

Son objectif est le passage à un autre type de repérage, lié à l'objet et basé sur un réseau de plans structurés selon les trois directions du trièdre trirectangle. Ce type de repérage émergera à travers des stratégies de dépassement, par le biais de connaissances géométriques, de l'obstacle de la perception, moyen de contrôle défavorisé par le choix fondamental du type de représentation adopté (cf. § III.I du chap.II).

La tâche consiste à donner, en se servant de Mac Paint, le plus grand nombre possible de représentations d'assemblages de n cubes opaques, à partir de la représentation d'un assemblage de n cubes transparents.

A part la règle générale déjà relatée (§ IV), le monde des assemblages de cubes impliqués dans cette situation est contraint par une règle supplémentaire : "les seules portions de faces que deux cubes peuvent avoir en commun sont des faces entières ou des demi-faces (ayant une forme rectangulaire)".

La variable "degré de transparence" joue ici un rôle important dans l'évolution du processus, donnant lieu à deux modalités que différencie la nature des cubes composant les assemblages cibles : cubes opaques ou boîtes cubiques sans couvercle.

a) Première modalité

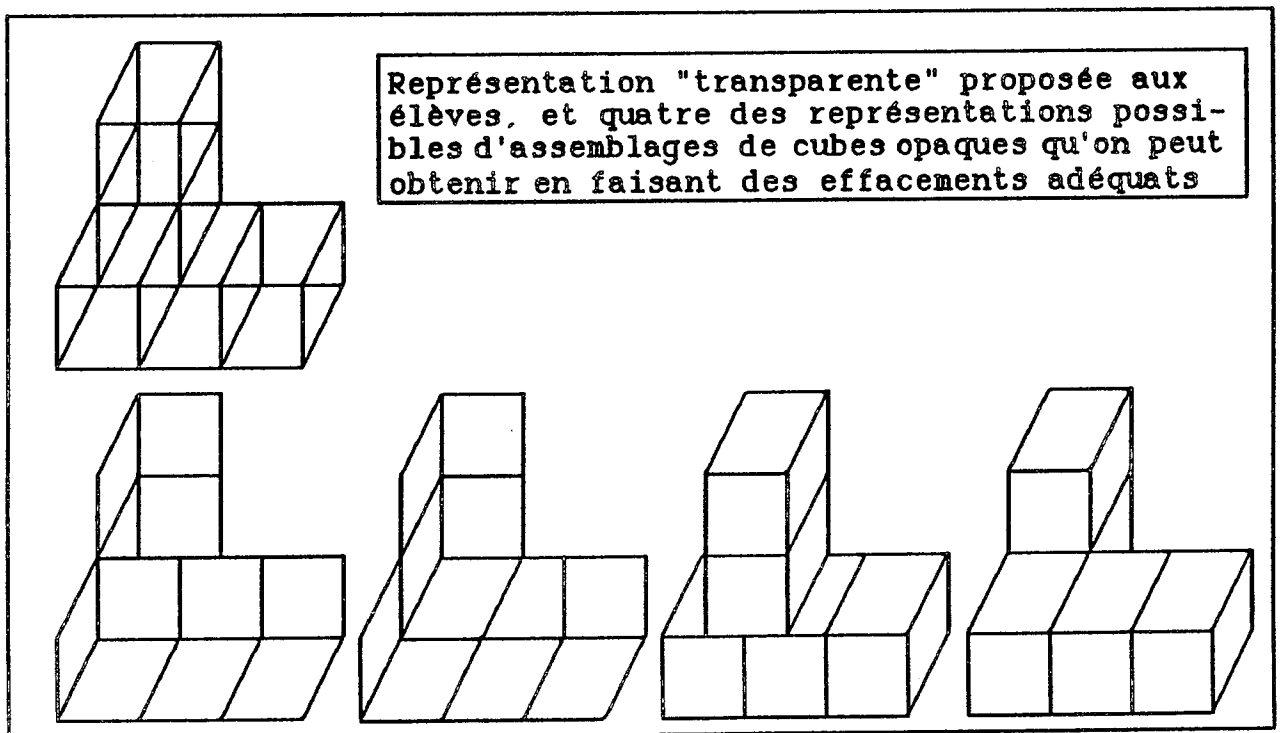


fig.1.16

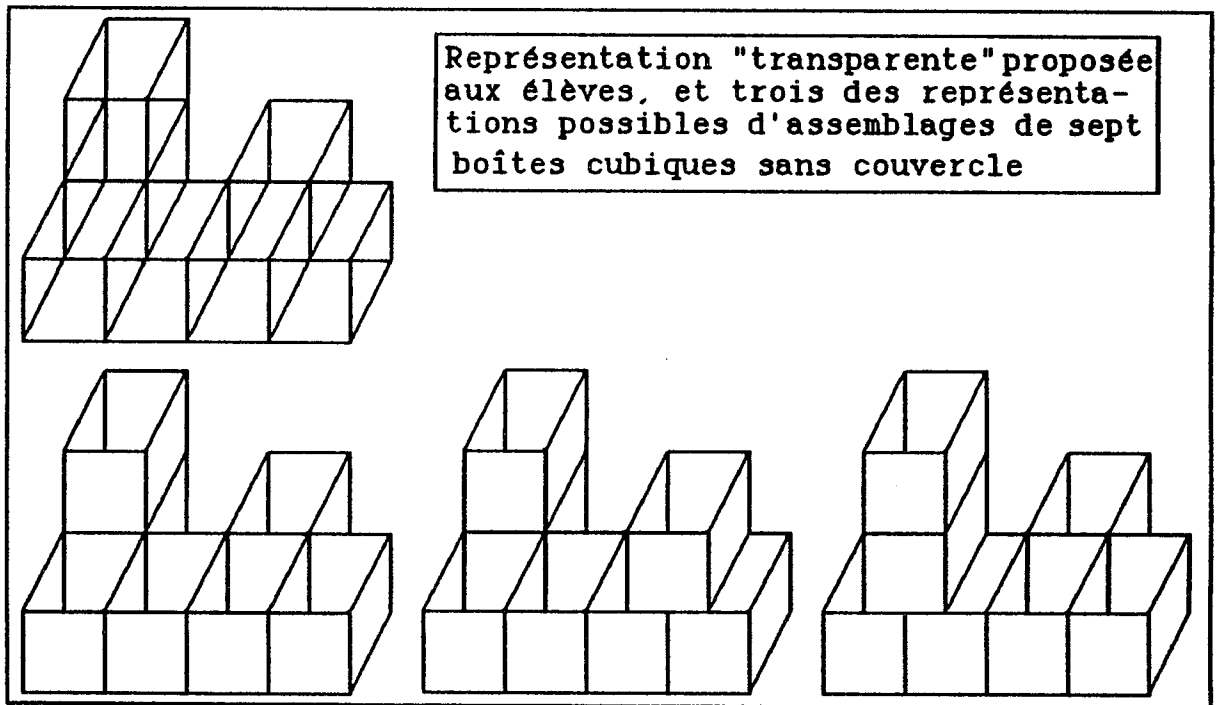
b) Deuxième modalité

fig.I.17

V.2.4. Troisième situation-problème

Son objectif est de construire un type de repérage par plans parallèles aux plans du trièdre euclidien (par strates). Ce repère est régi par un système de coordonnées et de mesure, et progressivement détaché de l'objet, à travers plusieurs modalités de la situation.

La tâche consiste à construire, à l'aide de Mac Space, la représentation graphique d'un objet en perspective cavalière.

Cette tâche met l'élève dans une situation d'interaction avec un système de repérage implicite du logiciel, qu'il aura à détecter et à construire, au cours de son action, pour pouvoir réussir. Par opposition à une situation ordinaire de dessin, et en conséquence des contraintes spécifiques au logiciel, les raccords des constituants de la représentation ne peuvent se faire en joignant des points; ils ne peuvent se faire qu'en donnant aux éléments de la configuration les coordonnées appropriées par rapport à un repère qu'on ignore a priori.

Dans cette analyse a priori globale, nous nous intéresserons surtout à l'évolution par rapport à deux stratégies de construction des objets concernés par la séquence, et qui

marquent deux étapes dans la détection du système de coordonnées régissant le logiciel et de la logique de son fonctionnement. La première est basée sur l'utilisation d'outils de construction globale de solides (l'application "prisme", cf. chap. IV, § II.2.2), la deuxième sur la construction et la coordination des facettes composant la configuration spatiale.

En faisant des choix adéquats des valeurs de la variable "objet", et en passant du monde des solides (pavés, assemblages de cubes) au monde des surfaces en escalier, nous avons voulu faire évoluer le processus d'apprentissage du système de repérage de Mac Space selon les étapes suivantes :

1- laisser aux élèves le choix d'utiliser l'une ou l'autre des stratégies de construction; les objets à construire étant des solides, ils sont constructibles avec l'une ou l'autre. Avec la première stratégie, les seules coordonnées à prendre en compte sont les coordonnées par rapport au point de départ. Le repérage est donc lié à l'objet.

2- bloquer la stratégie de construction avec les outils de construction globale, en passant à l'autre type d'objets : des escaliers sans bordure, qu'on dessine de face; la perception est là le moyen de contrôle, pour effectuer la coordination et la connexion des marches et contremarches. La construction globale étant bloquée, on ne peut échapper au problème des coordonnées par rapport à des référents fixes et détachés de l'objet. Ceci incite à rechercher, interpréter et utiliser des commandes relevant du repérage qui prendront le statut de solution à un problème décelable perceptivement.

3- supposant que le système de coordonnées est détecté au cours des deux tâches précédentes, la dernière étape essaie de "dévaluer" le contrôle perceptif, pour privilégier le contrôle par les coordonnées; le système de repérage fonctionne alors comme moyen de contrôle pour surmonter l'obstacle de la perception. Les objets à représenter sont des escaliers avec bordure, vus de côté; par l'abondance des éléments qui les composent et le choix des dimensions, ils présentent un degré d'ambiguïté perceptive qui donne lieu à des coïncidences et des alignements trompeurs.

V.2.5. Quatrième situation-problème

Son objectif est de mettre les élèves face à un problème dont la résolution exige l'utilisation de notions relevant du champ conceptuel concerné par les situations précédentes, dans une situation n'impliquant pas, cette fois, l'ordinateur.

Les exigences de cette situation favorisent le transfert et le réinvestissement des connaissances déjà acquises au cours des situations précédentes, en les adaptant à la nouvelle situation.

Dans une situation de communication organisée en deux temps séparés par un échange de messages entre les binômes, les élèves ont à :

- * produire un message, le plus court possible, qui décrive un objet donné de façon qu'il soit reconstituable, d'après ce message, par quelqu'un qui ne le connaît pas,
- * D'après le message qui décrit un objet non connu, reconstruire cet objet.

L'adaptation aux nouvelles conditions de la situation conduit les élèves à l'adaptation et l'extension des systèmes de repérage construits lors de la résolution des problèmes précédents. Le traitement ne se fait plus sur des représentations symboliques (que ce soit au niveau des objets à décrire ou au niveau des outils) mais sur des objets matériels manipulables. Les objets concernés relèvent du micro-espace et présentent des ressemblances avec celles des objets précédents, ce qui permet de reconnaître une catégorie d'objets intégrables dans les systèmes déjà construits, tandis que les différences obligent, elles, à l'extension de ces systèmes.

Notons, enfin, une particularité fondamentale de cette situation : alors que la tâche précédente se réalise dans un milieu structuré et géré par un système de repérage, et que sa réalisation passe par la détection de ce système pré-existant, la dernière doit passer par la construction effective, par les élèves, d'un système approprié, ce qui implique la nécessité du choix des référentiels et du système de mesure. Un changement de contexte (absence de l'interactivité avec l'ordinateur) amènera à une nouvelle formulation des concepts, en les explicitant autrement que par des actions orientées vers la production de représentations graphiques.

Sans prétendre avoir analysé les différentes situations- problèmes que comporte la séquence d'enseignement objet de cette recherche, cette partie avait pour but de dresser une succession chronologique des différents problèmes proposés, et d'éclairer des moments que nous considérons importants dans l'évolution du processus : les moments où ces problèmes s'enchaînent, en marquant des conditions provoquant des déséquilibres (au sens de Piaget) nécessitant des processus d'adaptation et de rééquilibration.

Cet enchaînement de problèmes, différents mais relevant tous d'un même champ conceptuel et faisant appel aux mêmes outils et notions, comporte plusieurs importants changements de cadres, au sens de Douady (1984, 1986).

VI. Dispositif expérimental

La séquence d'enseignement a été expérimentée trois fois, dans le cadre d'une structure d'atelier informatique, dans un collège de la région de Grenoble. Chaque expérimentation a eu lieu durant un trimestre, sur (plus ou moins) douze séances de deux heures chacune. Les deux premières expérimentations ont été réalisées au cours de l'année 1986, la première avec des élèves de CPPN (Classe Pré-Professionnelle de Niveau), la deuxième avec des élèves de troisième.

A part l'intérêt qu'elle présente en soi, l'analyse des données recueillies pendant ces deux expérimentations a servi à mieux contrôler la construction de la séquence et les conditions expérimentales, en vue de la troisième expérimentation qui a eu lieu dans le même collège, au cours de l'année 1987, avec des élèves de troisième.

Chaque expérimentation s'est déroulée avec huit élèves, travaillant par binômes. Pour les situations impliquant l'utilisation de l'ordinateur, chaque binôme disposait d'une machine.

Les moyens de recueil des informations :

- * les notes des observateurs (un observateur par binôme),
- * les enregistrements magnétophoniques (les dialogues des élèves et les propos du maître ont été enregistrés)
- * la suite des fichiers informatiques enregistrés, contenant les dessins produits par les élèves à des moments rapprochés,
- * les productions écrites des élèves : fiches à remplir, messages à formuler, etc.... (pour une idée sur le matériel distribué au cours de chaque situation, voir l'annexe)
- * des constructions matérielles produites par les élèves : maquettes reconstruites au cours de la dernière situation (voir annexe).

Chapitre II

Deux situations de dessin avec Mac Paint

Dans cette partie, nous présenterons une analyse sommaire des deux premières situations-problèmes, réalisées dans le cadre du logiciel Mac Paint. Pour commencer, donnons un aperçu des caractéristiques de ce logiciel impliquées dans l'activité des élèves.

I. Analyse conceptuelle de Mac Paint

C'est un éditeur graphique, destiné à la réalisation de dessins à l'aide d'outils graphiques simples, dont quelques-uns se rapprochent des outils utilisés en situation de dessin ordinaire (papier-crayon) :

 "stylo",  "gomme",  "règle",  "pinceau", etc...

L'utilisateur peut avoir accès, sans distinction aucune, à chacun des points de la page virtuelle de dessin, représentés par des pixels; il peut donc traiter et transformer, séparément, des zones quelconques du dessin. Cette caractéristique peut avoir des répercussions sur les représentations graphiques d'objets spatiaux : les différences de niveaux (surtout en profondeur) ne sont pas gérées par le logiciel; ces représentations sont traitées comme des dessins plans. De ce fait, l'utilisateur doit prendre en charge le contrôle des caractéristiques spatiales des objets représentés, car un traitement non contrôlé des représentations graphiques d'objets spatiaux peut leur faire perdre leur caractéristique en tant que tels : le lien entre l'espace d'un objet et l'espace graphique de sa représentation peut être rompu. Préserver de tels liens ou les restaurer le long des activités de traitement graphique fera partie de l'activité des élèves, pour répondre aux exigences des tâches.

Le traitement peut se faire point par point à l'aide d'outils de dessin, ou zone par zone à travers la sélection de portions de la page de dessin, à l'aide de l'un ou l'autre des deux outils de sélection :

 "rectangle pointillé" ou  "lasso".

Dans les activités présentes, c'est surtout le lasso qui sera utilisé, par la suggestion du maître, basée sur un choix de l'analyse a priori de l'activité. Avec cet outil, la sélection s'effectue selon un procédé basé sur des notions topologiques : la sélection d'une zone contenant des lignes fermées affecte automatiquement au dessin tous les pixels situés à l'intérieur de ces lignes; la zone intérieure à toute ligne fermée sera donc atteinte par toute transformation subie par la zone sélectionnée. Une transformation importante nous intéressera particulièrement, parmi les possibilités offertes par ce logiciel : le déplacement (en translation) d'une portion sélectionnée de la page de dessin. Cette portion sera automatiquement mise dans un premier plan de traitement, elle survolera la page et les dessins qui y figurent. Les zones situées au voisinage de frontières ouvertes ne seront pas considérées comme faisant partie de la zone sélectionnée (fig.II.1), elles sont considérées comme transparentes.

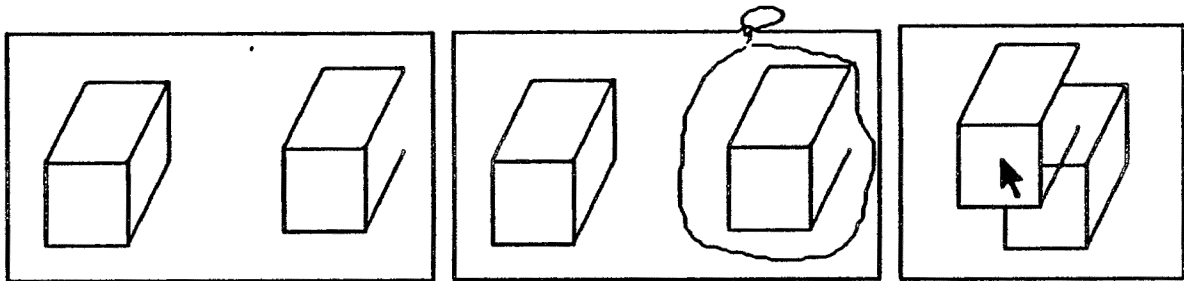


fig.II.1

Les zones comprises à l'intérieur de frontières fermées seront considérées comme opaques et masqueront les parties correspondantes de la page (fig.II.2). Une telle propriété pose le problème de la signification, par rapport au cadre de référence "représentations graphiques d'objets à 3 dimensions", de dessins comme celui représenté dans le dernier cadre de la fig.II.2.

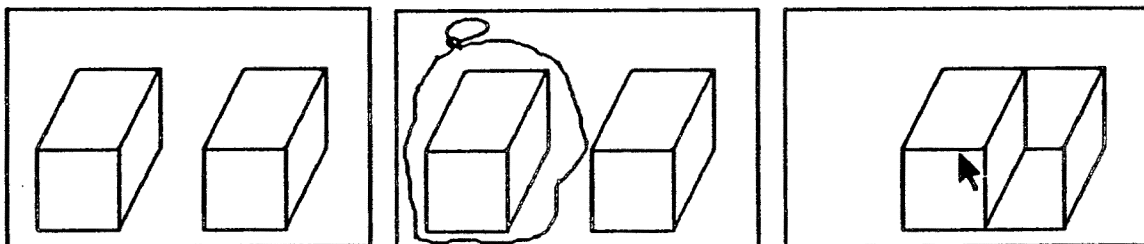


fig.II.2

Signalons, finalement, que Mac Paint offre la possibilité de "copier" une zone sélectionnée, et de la stocker en mémoire (dans le "presse-papier"), de manière à ce que l'utilisateur puisse l'appeler dans la page de dessin autant de fois qu'il le veut, en utilisant la commande "coller". Notre première situation est fondée sur cette possibilité.

II. Première situation : "Simulation"

II.1. Analyse de la tâche :

La tâche présente consiste à utiliser la représentation d'un cube, stockée dans l'album, pour représenter un assemblage de cubes accrochables, placé sur la table dans une position fixée. Elle met les élèves dans une situation de simulation d'une activité qui leur est familière : construire un assemblage de cubes réels, en juxtaposant plusieurs cubes, tout en contrôlant leurs positions relatives dans la configuration, les alignements des arêtes et la coïncidence des faces. Cette familiarité est soutenue par :

- le type d'interaction Macintosh (souris: prolongement de la main, commandes structurées en menus, dans un langage proche de la langue naturelle),
- la donnée initiale du problème : la représentation d'un cube dans l'album est identifiée par les élèves à la donnée d'un nombre indéterminé de cubes concrets identiques, du fait qu'ils peuvent, à tout moment, appeler "ce cube" dans leur page de dessin,
- les actions disponibles dans Mac Paint, liées à la réalisation de la tâche :
 - * possibilité de sélection d'un dessin (ici, la représentation ou une portion de la représentation d'un cube) que l'élève identifie à l'action de "prendre" le cube;
 - * possibilité de translater ces représentations, que l'élève identifie à l'action de "déplacer" le cube.

Dans le cadre de cette identification à une tâche familière, le moyen de contrôle principal est perceptif : on contrôle les alignements d'arêtes et les juxtapositions de faces. Des relations topologiques doivent être respectées pour obtenir la représentation de la configuration en question : des règles de voisinage et d'ordre spatial : devant, derrière, dessus, dessous, à gauche, à droite.

Selon la position relative du cube courant par rapport à la configuration, et précisément lorsque ce cube doit être placé derrière, dessous ou à gauche d'un cube déjà en place, l'application de l'action naturelle peut se heurter à un obstacle, relevant de la caractéristique déjà évoquée du logiciel utilisé : un dessin sélectionné dans Mac Paint est automatiquement mis dans un premier plan de traitement; alors, translaté ou sur place, il masque les autres éléments du dessin qui occupent la même surface (fig.II.3); d'où une prise de conscience de la nécessité d'effacer des traits de la représentation du cube courant, pour pouvoir l'intégrer dans la représentation globale.

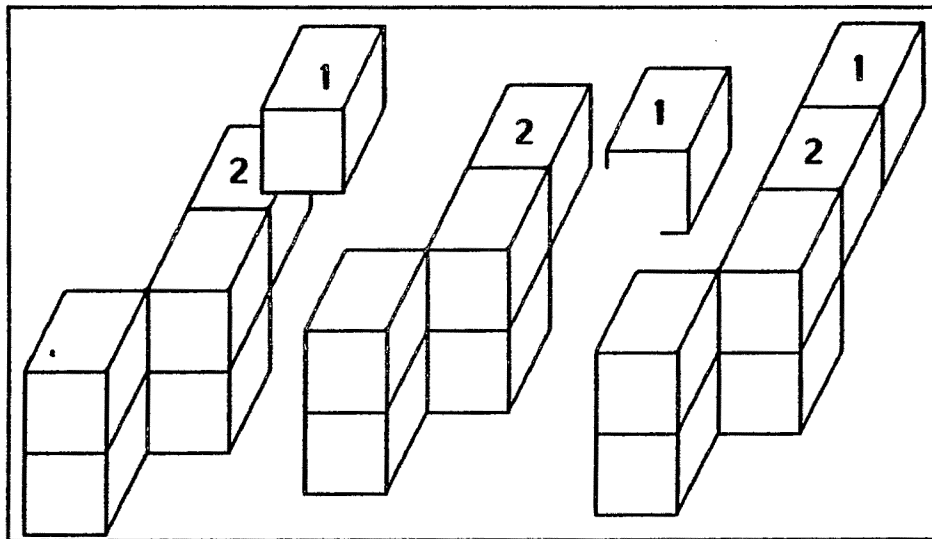


fig.II.3

Ce problème ne se pose pas lorsque le cube courant est à placer devant, dessus ou à droite d'un cube déjà en place; c'est un fait lié à la représentation du cube en perspective cavalière "face, dessus, droite".

Dans cette phase de l'action, l'anticipation est une condition nécessaire; en effet, l'effacement ne peut se faire que sur le dessin du cube courant, éloigné du dessin global; une estimation de la partie du dessin à effacer doit être faite pour pouvoir raccorder, à la suite, les alignements; dans le cas d'erreur dans l'estimation, on court le risque d'abîmer la représentation globale, en essayant de corriger.

Le choix de valeurs de certaines variables de la situation favorisera l'apparition d'une règle d'action, qui sera une règle d'économie; ceci, en choisissant des configurations adéquates, et en adoptant comme unité de départ, dans l'album, la représentation d'un cube peint, ce qui rendra long et difficile le travail d'effacement, et incitera à la recherche d'une autre stratégie. Cette règle consiste à : opérer toujours de la gauche vers la droite, de bas en haut, et de derrière vers l'avant. L'application de cette règle nécessite une anticipation sur l'ordre dans lequel les représentations de cubes doivent être composées.

Révélant son efficacité et sa légitimité, cette règle d'action peut se transformer en un théorème en acte (distinction faite par Balacheff 1984, p.115), basé sur une structuration particulière de l'espace. Un type de repérage topologique lié à l'objet est sous-jacent à cette règle : on fait référence à trois directions privilégiées qui sont déterminées par les directions de composition de l'objet, à savoir : celles des trois axes d'un trièdre trirectangle; la configuration "cube" est l'unité, la mesure est réduite au dénombrement de cubes; le long de chacune des directions principales, l'ajout de représentations de cube doit se faire dans

un sens d'orientation précis, dans l'objectif d'épargner l'effacement : de bas en haut le long de la verticale, de gauche à droite le long de l'horizontale frontale, et vers l'observateur selon l'horizontale normale (fig.II.4).

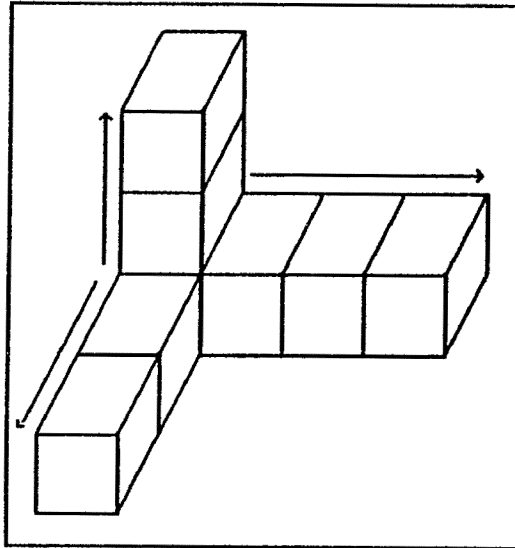


fig.II.4

Pour une catégorie de configurations convenablement choisies, on peut privilégier un cube de départ, par lequel peut commencer l'action de composition de l'assemblage (le cube extrême de derrière, en bas et à gauche) et par rapport auquel se fera le repérage des autres cubes de la configuration selon les trois directions; il jouera le rôle de "cube-origine".

II.2. Déroulement :

Comme nous l'avons signalé dans l'analyse de l'enchaînement du processus, nous avons, lors de la construction de cette situation, le double objectif :

- * prise de conscience de la nécessité et mise en œuvre de l'effacement,
- * construction de cette structuration topologique

La réalisation de l'un ou l'autre de ces deux objectifs a été basée sur le choix des valeurs particulières des variables : nature du cube représenté (peint ou non) et composition topologique de l'objet (possibilité ou non de trouver un cube-origine).

Ainsi, l'activité s'est déroulée en deux phases, selon deux modalités :

a) Première modalité :

A travers cette phase, nous avons voulu réaliser le premier objectif. Le cube représenté dans l'album est un cube non peint (ce qui facilite l'effacement). Deux assemblages ont été successivement proposés à chacun des binômes.

- Le premier est composé de manière à ce qu'il soit possible de le construire sans aucun effacement (il admet un cube origine). Notre but était de tester laquelle des deux stratégies les élèves utiliseraient. (voir dans l'annexe les assemblages proposés au cours de cette étape aux trois binômes étudiés);

- Le deuxième est composé de manière à ce qu'il ne puisse être représenté sans effacement (il comporte des barres de plusieurs cubes, orientées vers le sens négatif le long de la normale). La connexité du cube courant avec un cube déjà construit étant une condition essentielle pour pouvoir le positionner, de telles barres ne peuvent être construites dans le "bon" sens. (voir dans l'annexe les assemblages proposés au cours de cette étape aux trois binômes étudiés);

Ce dernier type d'assemblages nécessite l'effacement de portions de la représentation d'un cube, pour pouvoir le positionner par rapport aux autres composants de la représentation. Ceci permet une prise de conscience de la nécessité d'effacement, et une activité intellectuelle doit être menée pour décider des portions du dessin à effacer.

b) Deuxième modalité :

Cette prise de conscience étant acquise, nous avons rendu la solution de l'effacement trop coûteuse, voire impossible à réaliser dans certains cas, par des choix adéquats des valeurs des variables de la situation; ceci, en vue de la réalisation du deuxième objectif de la situation.

Les choix opérés incitent à la recherche d'une autre stratégie et favorisent l'apparition d'une règle d'action, qui est une règle d'économie liée aux règles de fonctionnement du logiciel. Les assemblages sont composés à partir de la représentation d'un cube peint, leur composition étant telle qu'ils admettent un "cube-origine", à partir duquel les cubes de

l'assemblage peuvent être positionnés selon un ordre préservant les trois ordres dans les trois directions principales de l'espace.

Dans ce cas, et à cause de la difficulté de reproduire les motifs de "peinture", l'effacement est une opération risquée et coûteuse. Une autre stratégie doit être recherchée. La règle d'action solution à ce problème consiste à : opérer toujours de la gauche vers la droite, de bas en haut, et de derrière vers l'avant. L'application de cette règle nécessite une anticipation sur l'ordre dans lequel les représentations de cubes doivent être composées. Cette anticipation doit être basée sur une analyse, par les élèves, de la composition topologique de l'assemblage.

II.3. Analyse de l'activité des élèves :

II.3.1. Quelles stratégies au cours de la première étape de la première phase ?

A la fin de l'activité, les trois binômes considérés ont mené à terme la construction des assemblages qui leur ont été proposés, en utilisant l'une ou l'autre des deux stratégies. Les deux binômes (Eric, Richard) et (David, Rachel) ont utilisé, sans l'exprimer, la règle de composition selon les trois ordres dans les trois directions principales : Cette utilisation était complètement implicite chez le premier, elle s'est manifestée chez le deuxième par le changement du statut de la première représentation de cube positionnée (voir l'assemblage dans l'annexe) : Les deux élèves avaient décidé de "*commencer par celui de devant*", en indiquant le cube situé au-devant de la barre normale de trois cubes. Une fois positionné, et au cours du positionnement du deuxième cube, ils ont changé son statut par rapport à la configuration, et il est devenu le cube de "derrière". En effet, cette solution s'est avérée à moindre coût, vu la manifestation de la contrainte du logiciel concernant l'opacité de la zone sélectionnée (fig.II.5).

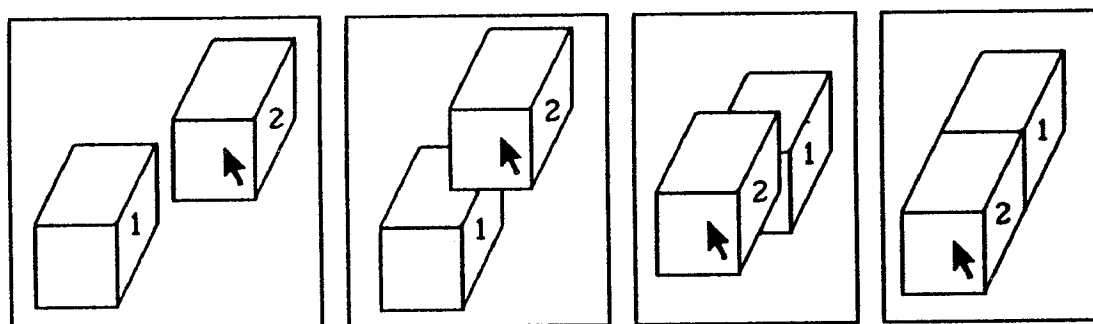


fig.II.5

Quant à (Olivier, Stéphane), l'effacement était leur solution pour préserver leur statut de "cubes devant" aux deux représentations de cubes adjacents qu'ils ont commencé par positionner (fig.II.6):

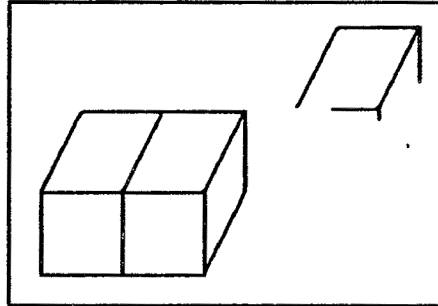


fig.II.6

Ils se sont posé le problème de l'estimation de la partie à effacer pour que la représentation soit adaptée.

II.3.2. Deuxième étape de la première phase :

C'est l'étape où l'effacement est obligatoire; elle vise donc surtout la modification du comportement des deux binômes (David, Rachel) et (Eric, Richard). Au cours de cette étape, les deux binômes ont mené une longue recherche et une longue analyse de la composition de l'objet et des ordres possibles de réalisation, pour épargner l'effacement. Cette recherche, menée à deux dans un but déterminé qui était jusque-là implicite, les a amenés à une explicitation et une formulation progressive des trois composantes de la règle d'action déjà mise en œuvre :

E: puisque là, il faut commencer par celui-là, puis celui à côté, puis ...[....]... alors il faut qu'on efface à certains endroits parce qu'il marche dessus... en fait il faut toujours commencer par derrière,

La nécessité de l'effacement est bien liée, chez les élèves, à la composition particulière de l'assemblage, où la construction par connexités successives nécessite la rupture de l'ordre adéquat dans l'opération de construction. A un autre moment de la construction :

E: enfin.... il faut partir de l'arrière et de la gauche..

Des formulations analogues sont retrouvées chez (David, Rachel).

II.3.3. Deuxième phase :

Au cours de cette phase, nous avons noté chez des élèves des retours sur des constructions partielles, et des reprises à zéro de la construction afin d'éviter l'effacement. A chaque étape, chez (Eric, Richard) et (David, Rachel), une anticipation sur l'ordre de composition des cubes a précédé toute manipulation "*puisque'on a trouvé la technique, c'est bon...*"; "*on va faire le système, allez.... il faut commencer par... celui-là, car il est derrière tous et à gauche... puis...*"

N'ayant pas encore appliqué la règle de l'ordre de composition, Olivier et Stéphane l'ont appliquée et exprimée au cours de cette phase, comme solution au problème de la difficulté de reconstruire les motifs en vue de la réparation des frontières d'effacement :

(Olivier, Stéphane), après la construction1 :

O: problème.... maintenant qu'est-ce qu'on fait ?

S: tu sais ? il faut peut-être commencer par ceux de gauche, ça ira mieux.... même s'il faudra peut-être éliminer celui-là

O: il faudra qu'on fasse... oh là là ! c'est compliqué... ah il faut commencer par derrière, tu crois pas ?

S: comment ça ? il faut refaire, hein ? le problème, si je mets ça, ça passe par-dessus; il faut gommer... il faut gommer les dessins, mais après on peut pas les refaire, les dessins (il veut dire : les motifs)

O: je pense qu'il faut commencer par derrière, parce que si on commence là, après on est coincé

Le troisième sens d'orientation (de bas en haut) n'est pas exprimé car il est le plus évident, et que, jusque-là, il a été respecté implicitement. Ci-après (fig.II.7, fig.II.8, fig.II.9, fig.II.10), un suivi des constructions successives réalisées par ce binôme :

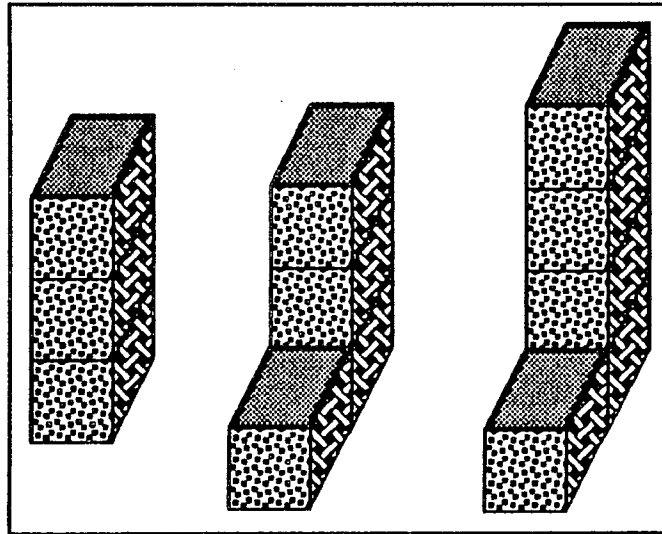


fig.II.7. construction 1

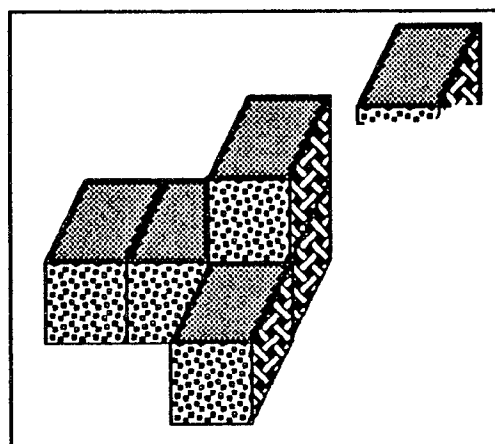
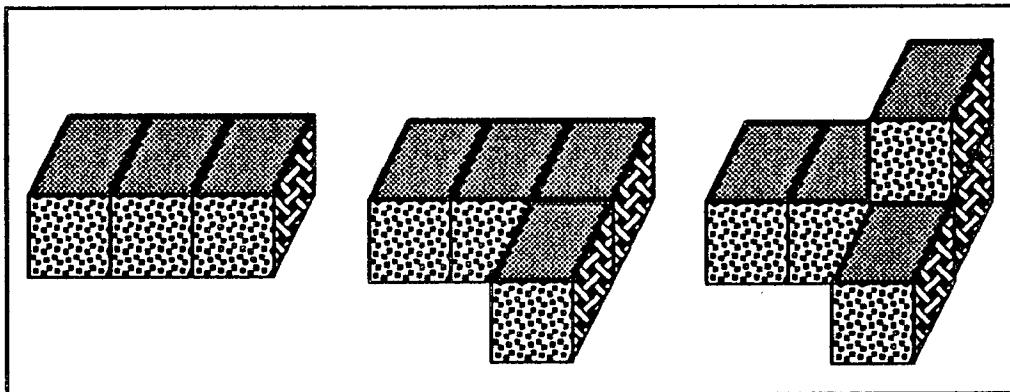


fig.II.8. construction 2

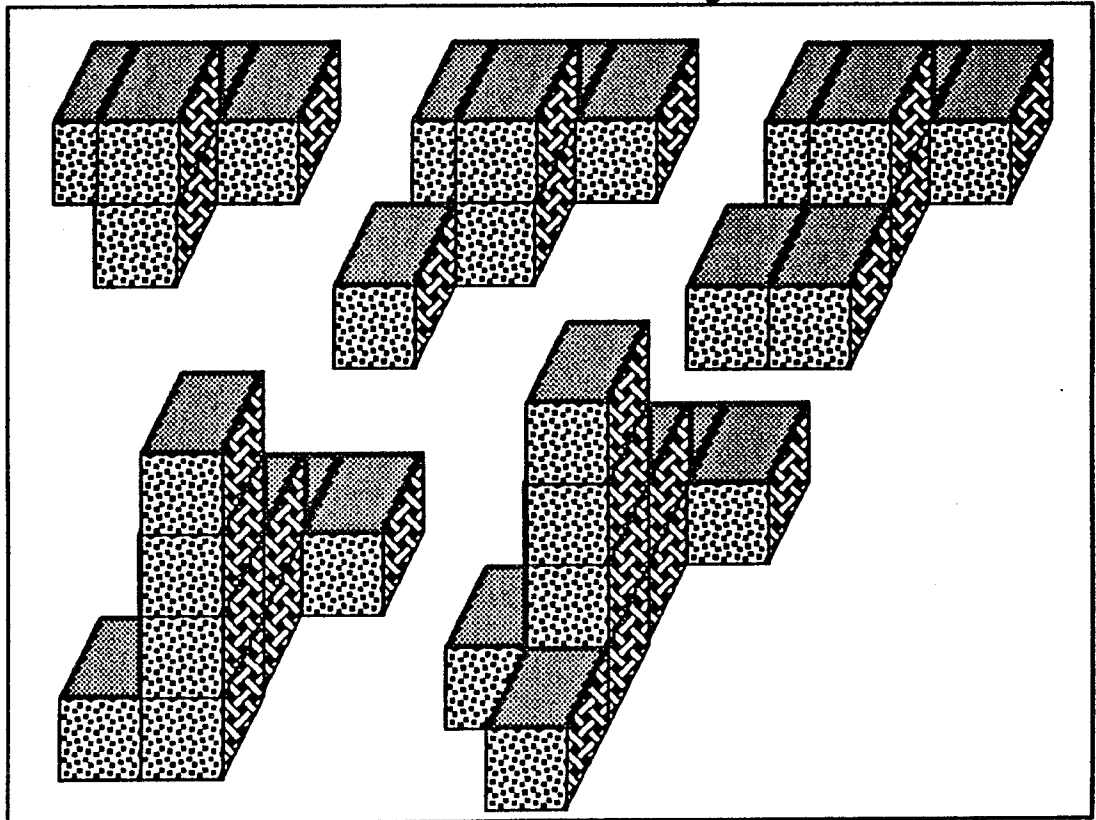
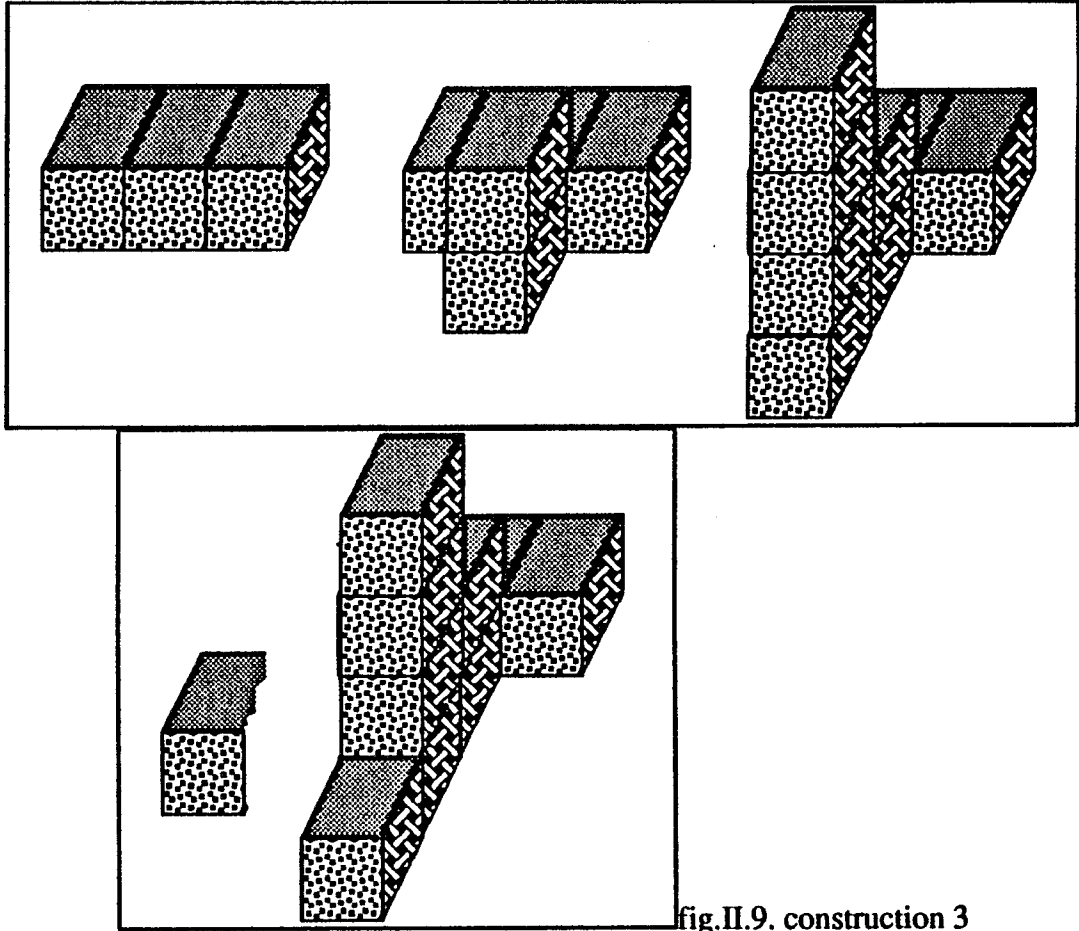
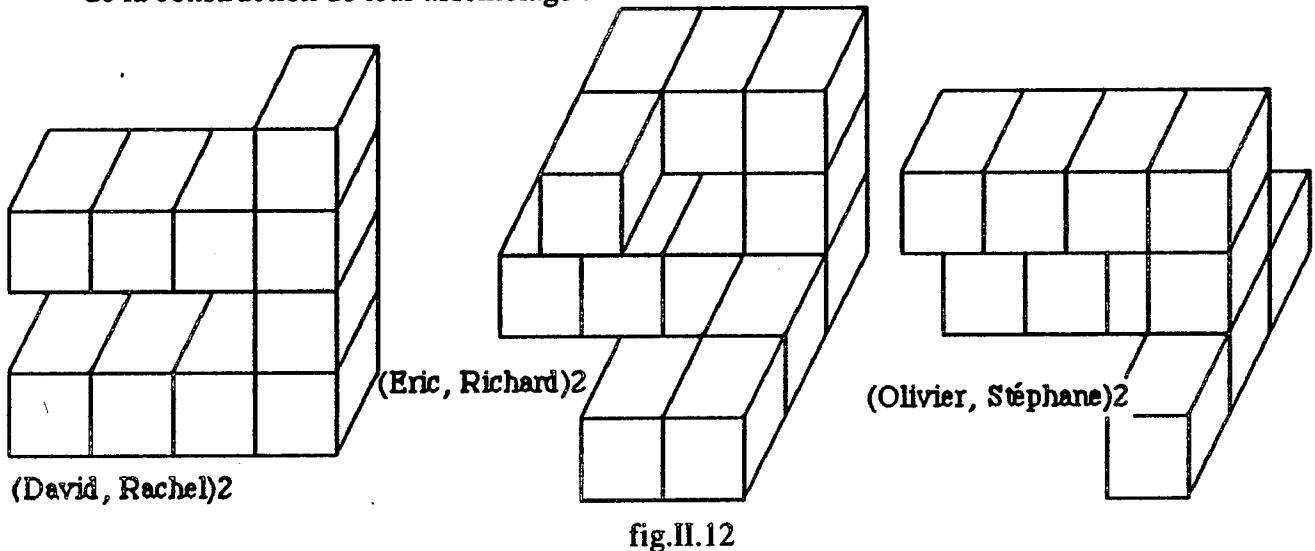


fig.II.10. Construction 4

II.3.4. Moyens de contrôle :

Dans leur construction des représentations des assemblages, les élèves ont adopté, comme moyen de contrôle principal, les alignements des arêtes, la coïncidence ou la connexité des faces. Le contrôle à l'aide de ces moyens, garanti par les contraintes du logiciel en ce qui concerne le déplacement d'un dessin (toujours en translation), s'est souvent fondé sur la perception.

Or, dans certains cas, et selon la composition de l'objet à représenter, des étapes du dessin présentaient des ambiguïtés qui rendaient difficile sa lecture, ou sa validation comme représentant d'une partie de l'assemblage. Les élèves surmontaient de telles ambiguïtés par l'histoire de l'action menée, et les positions relatives des représentations des cubes progressivement positionnés. C'est par l'action, simulant fortement une opération de composition d'un assemblage à partir de cubes matériels, que les élèves arrivaient à surmonter des ambiguïtés perceptives comme celles de la fig.II.12, représentant des étapes de la construction de leur assemblage :



(Eric, Richard) :

E: regarde, il y a une erreur... on dirait qu'elle est derrière l'autre, cette barre (la barre horizontale supérieure)

R: oui..... ça fait bizarre.... mais je pense que c'est la perspective qui fait ça... on les a bien mis, les cubes, à leur place

E: oui, mais ça fait bizarre quand-même

Avec les assemblages de cubes peints, la validation du résultat graphique devient encore plus difficile :

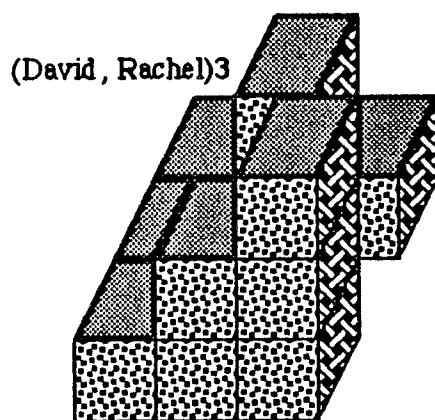


fig.II.13

(David, Rachel), fig.II.13 :

D: ce qui est bête, c'est qu'on n'arrive pas à distinguer

R: ben, écoute, on ne peut pas faire autrement, hein ?

D: oui, oui, ça je sais

R: on peut pas faire autrement, car ils veulent le machin dans cette position, et avec le cube qu'on a dans l'album... le tout c'est qu'on est sûr de l'ordre de nos cubes et qu'on les a bien placés

D: oui, ça doit être ça... oui

Dans cette situation donc, deux moyens de contrôle sont en conflit : la perception (avec ses ambiguïtés) et l'action dans ses étapes progressives et son contrôle avec des relations projectives. C'est l'histoire de cette action et la connaissance a priori de la composition de l'assemblage représenté qui rendent possible une perception autrement impossible, ou au moins difficile sans mise en œuvre de relations géométriques assez élaborées.

II.4. Phase collective :

A la fin de la deuxième phase, un débat collectif entre les élèves a été dirigé par le maître, au cours duquel les élèves ont exposé les "méthodes" qu'ils ont suivies, leurs inconvénients, et les raisons pour lesquelles la méthode de "l'ordre" des cubes est la meilleure.

Le maître a ensuite mis l'accent sur les trois directions principales de l'espace, le sens d'orientation de chacune : de bas en haut, à partir de l'arrière, et de gauche à droite. Sur les exemples des assemblages de la dernière phase (convenablement choisis), un cube de départ a été mis en évidence par l'ensemble de la classe; il a été appelé "cube-origine". Ainsi, ont été instaurées les caractéristiques d'un repérage topologique, basé sur le cube comme unité.

III. Deuxième situation : "Arêtes cachées"

III.1. Analyse de la tâche :

III.1.1. Première modalité :

(cf. les consignes et les dessins proposés aux élèves dans l'annexe) La tâche présente met les élèves dans une situation de : décodage d'un dessin en perspective "transparente", et transformation de ce dessin pour montrer à autrui le plus grand nombre possible d'assemblages de cubes qu'il peut représenter.

Elle est donc basée sur l'interprétation, à travers la perception, de dessins dont les élèves savent qu'ils représentent des configurations faisant référence à un contexte défini (ici, le monde des assemblages de cubes tel qu'il a été défini dans § V.2.3 du chap.I). Or la perception ne consiste pas, selon Piaget (1961), en une simple lecture des données sensorielles, mais comporte une organisation active, de plus en plus influencée par le développement de l'intelligence; cette "activité perceptive", au sens de Vurpillot (1963), doit être contrôlée par des connaissances géométriques antérieures, et sera conduite de façon de plus en plus élaborée, en fonction de l'élaboration de la connaissance des objets impliqués, et des relations spatiales qui les régissent.

Dans cette activité, on assistera donc au décodage, par les élèves, d'informations graphiques. Ce décodage ne pourra être basé exclusivement sur la perception "intuitive", à cause des ambiguïtés perceptives qui se manifestent par des alignements, des connexités et des coïncidences trompeuses, qui multiplient le nombre de configurations qui peuvent être représentées. Ce décodage doit donc commencer par une structuration mentale de la configuration particulière perçue, avant de commencer l'effacement des arêtes (ou portions d'arêtes) qui ne doivent pas être vues.

Cette opération mentale rappelle ce que Finke (1986) a appelé "imagerie mentale", qu'il a caractérisée comme étant "typiquement tridimensionnelle puisqu'elle décrit l'aspect, en volume, des objets vus sous différents angles" (Finke 1986); elle dépend donc de la connaissance que l'élève possède des caractéristiques de l'objet. Une telle activité de visualisation contrôlée par des mises en relations spatiales jouera un rôle fonctionnel dans l'activité perceptive mise en jeu pour décoder ce dessin et le transformer. Même plus, elle "influence vraisemblablement à des niveaux intermédiaires les mécanismes neuroniques responsables de la discrimination des détails ou d'autres types d'analyses plus complexes,

modifiant peut-être la perception de l'objet." (Finke 1986). Ce processus met en évidence un facteur important lié au défi de découvrir le plus grand nombre possible d'assemblages de cubes représentés : l'intentionnalité dans la perception, et la recherche de relations entre les éléments du dessin, traduisant des relations entre les composants de l'objet que l'élève cherche à mettre en relief.

Cette tâche exige une stabilité des représentations, qui sera fragilisée par les ambiguïtés perceptives, résultant d'une part de la "transparence", et d'autre part de coïncidences, alignements et superpositions trompeurs liés au type de perspective. Ce n'est que par l'élaboration de relations géométriques entre les éléments de la configuration que les élèves pourront surmonter cette instabilité. Ils seront obligés à mettre en oeuvre des :

- * relations d'incidence, d'adjacence, d'alignement, de coplanarité et d'intersection entre les différents éléments de la configuration représentée,
- * relations d'ordre spatial : devant, derrière, dessus, dessous,...
- * relations d'appartenance (de points à des arêtes ou des faces) et de contenance (de segments dans des faces),

Toutes ces relations doivent être liées à travers le code de la perspective à des relations qui leur correspondent au niveau des représentations graphiques, par un rapport permanent que les élèves doivent garder, le long de la réalisation de la tâche, entre une configuration "vue" et le dessin en cours d'élaboration. Leurs stratégies évolueront dans le sens de la recherche de moyens économiques de traitement, selon lesquels ils puissent prévenir l'instabilité de la vision.

Nous partons de l'hypothèse de l'existence d'une stratégie optimale que nous considérerons comme l'aboutissement théorique de l'évolution des stratégies des élèves; elle est basée sur la découverte de référentiels globaux liés à l'objet, et sur l'identification successive des segments à effacer en référence aux représentations de ces référentiels :

La fig.II.14 donne un exemple des opérations organisées d'effacement, à réaliser dans le cas d'un assemblage-pavé, considéré comme représenté à l'aide d'une perspective "face, dessus, côté droit". L'observateur doit commencer par distinguer les frontières de la face du pavé, et nettoyer les facettes composant cette face, puis répéter la même opération pour le dessus et le côté droit de l'objet. Les référentiels sont, dans ce cas :

- * la face "devant" de l'objet,
- * la face "dessus" de l'objet,
- * la face "de droite" de l'objet.

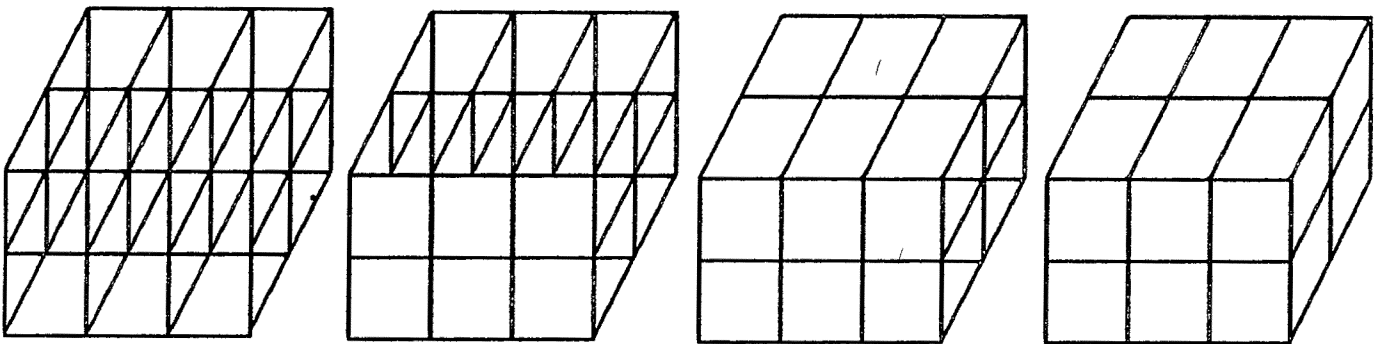


fig.II.14

Ces trois plans particuliers constituent, en fait, un trièdre trirectangle, base de l'espace euclidien; leur mise en évidence a un rôle fonctionnel dans le dépassement de l'obstacle de la perception trompeuse, comme moyen de contrôle, au cours de la réalisation de la tâche.

Cette stratégie est à adapter dans le cas d'assemblages quelconques : les faces de l'objet ne sont plus nécessairement planes, les référentiels seront situés à des niveaux différents de l'espace.

III.1.2. Deuxième modalité :

La tâche consiste, cette fois, à trouver, à travers le dessin en perspective "transparente", toutes les représentations possibles d'assemblages de boîtes cubiques sans couvercle.

L'application de la stratégie, supposée trouvée plus haut, à la réalisation de cette tâche se heurte à un obstacle important : la famille des arêtes qui auraient été cachées par le dessus de l'objet (selon la stratégie précédente) sera partagée en deux sous-familles : celle des arêtes qui ne seront plus cachées car la face "dessus" de l'objet n'existe plus et celle des arêtes qui seront cachées, cette fois, par la face "derrière" d'autres cubes. Cette classe de traits n'est donc plus homogène et l'on sera obligé de prendre en compte, simultanément, des plans ayant deux directions différentes : l'horizontale et la frontale, ce qui fragilise à

nouveau la perception, et incite à trouver une stratégie adaptée, complétant la précédente. Elle est basée sur la découverte de nouveaux référentiels globaux :

*les plans équidistants parallèles au plan vertical frontal. Dans cette classe, un plan particulier : la face devant de l'objet,

*les plans équidistants parallèles au plan horizontal. Dans cette classe, un plan particulier : la face dessus de l'objet,

*les plans équidistants parallèles au plan vertical, normal au plan frontal. Dans cette classe, un plan particulier : la face de droite de l'objet.

Ce réseau de plans constitue une structuration de l'espace en quadrillage, toujours liée à l'objet, et par rapport auquel seront repérés et traités les différents constituants de la configuration. Dans ce type de repérage, l'entité "cube" est détruite, pour laisser la place à des objets géométriques plus abstraits, résultant de la mise en rapport et de l'abstraction des faces de plusieurs cubes. L'unité de mesure étant la distance régulière entre les plans constituants du réseau, déterminée par la longueur de l'arête des cubes identiques, la mesure est réduite au dénombrement des cubes dans chacune des directions.

III.2. Déroulement et dimensions sociales de la situation :

L'activité présente s'est déroulée en deux séances, selon les deux modalités exposées plus haut. Avant de les expliciter, signalons qu'une activité annexe a précédé l'activité présente, où ont été mises en évidence les deux perspectives différentes, sur l'exemple d'un cube (fig.II.15), et où les élèves ont envisagé des cas de cubes décalés (des demi-faces en intersection), sur l'exemple de deux cubes (fig.II.16). Cette activité annexe a été suivie par la détermination du monde d'assemblages de cubes concernés.

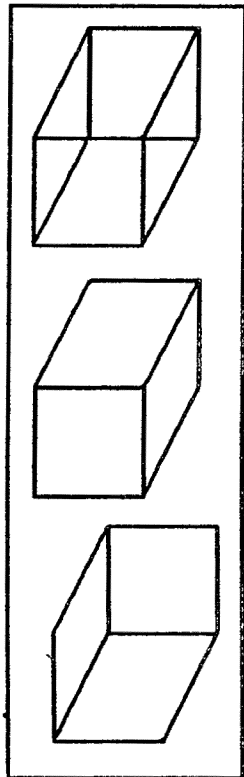


fig.II.15

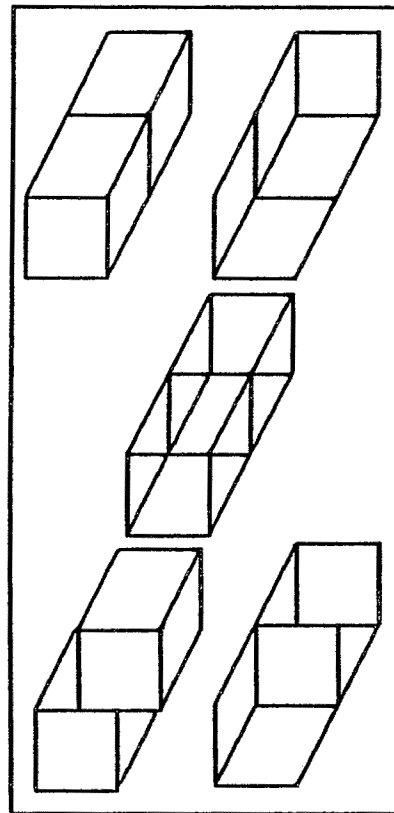


fig.II.16

III.2.1. Première séance

La première séance a consisté en une course de vitesse entre les binômes, en vue de trouver le plus grand nombre possible d'assemblages de cubes opaques. Cette course comprend trois étapes, une étape de réalisation, une étape de correction et une étape de confrontation, avec des règles de jeu connues à l'avance par les élèves :

A la fin de la première étape, chaque binôme calcule son score et le note dans une fiche (cf. l'annexe), en attribuant un point à chaque représentation de cube qu'il considère correcte au sein des représentations trouvées d'assemblages.

Au cours de la deuxième étape, les dessins (imprimés sur papier, et enregistrés sur les disquettes) produits par les binômes seront échangés, chaque binôme aura à évaluer la correction des productions d'un autre binôme. Une erreur trouvée fera perdre un point au binôme réalisateur et gagner un point au binôme correcteur. Le nouveau score est noté dans une fiche de correction.

Au cours de la troisième étape, les binômes adversaires confronteront leurs réalisations et leurs corrections; chaque binôme essaiera de défendre sa réalisation et de repousser l'accusation d'erreur s'il n'en est pas convaincu. Une prétention d'erreur qui se trouve non pertinente fait perdre un point au binôme qui l'a faite.

En cas de désaccord entre les protagonistes (membres d'un même binôme au cours des deux premières étapes ou deux binômes différents au cours de la troisième), les élèves savent qu'il existe un moyen de validation pragmatique de l'un ou l'autre des deux points de vue soutenus, qui sera réalisée sous le contrôle du maître, validation basée sur le principe de l'activité précédente, bien acquis par les élèves : reconstitution de la représentation de l'assemblage à partir de celle d'un cube. Un parti qui demande la validation pragmatique perdra un point supplémentaire si sa proposition s'avère fautive.

Cette situation favorise l'interaction entre les partenaires d'un même binôme, par l'enjeu qui les oblige à mener une auto-validation continue : au cours de la première étape, car une erreur leur fait perdre des points et en fait gagner au binôme adverse, de même qu'au cours de la deuxième, car une prétention non fondée d'erreur coûtera des points au binôme prétendant.

D'autre part, les règles du jeu défavorisent la validation pragmatique au cours des trois étapes. En effet, la première étape étant une course de vitesse, les membres du même binôme ont intérêt à épargner le temps que ferait perdre cette validation, et à se convaincre mutuellement par des arguments basés sur des relations géométriques faisant partie de leur répertoire de connaissances commun.

Quant à la troisième étape, un binôme doit être sûr de ce qu'il avance, avant de demander la validation pragmatique, au risque de perdre des points supplémentaires.

III.2.2. Deuxième séance

C'est une séance collective, qui a pour objectif de faire un bilan des stratégies mises en œuvre par les élèves au cours de la séance précédente, de les mettre à discussion puis à épreuve, et de les faire évoluer par la réalisation de la tâche sous la nouvelle modalité. A la fin de cette séance, une phase d'institutionnalisation a été prévue, où le maître met en évidence la structuration particulière de l'espace en quadrillage formé par le réseau de plans dans les trois directions principales, et l'ordre selon lequel l'effacement doit être réalisé, dans chacune de ces directions.

Notre analyse ne s'attardera pas sur cette séance, nous nous contenterons dans la suite d'exposer rapidement quelques résultats que nous avons pu dégager des activités des élèves au cours de la première séance.

III.3. Quelques résultats de l'analyse des productions des élèves :

III.3.1. Evolution des stratégies :

L'analyse des stratégies des élèves, le long de la réalisation de ce problème, a montré qu'elles suivent un cours d'évolution général qui va de l'analyse locale vers l'analyse globale : les premières stratégies consistent à tester aléatoirement, pour chaque segment du dessin, s'il doit être "vu", dans le cas de la représentation d'un assemblage précis.

Se révélant très coûteuses, et aboutissant à des productions fausses, ces stratégies seront remplacées par d'autres, où l'élève essaie d' "opacifier" localement un ou plusieurs cubes, et d'intégrer ces parties par rapport au dessin global. De telles stratégies peuvent aboutir à des dessins qui n'obéissent pas, dans leur globalité, au code de la perspective. Face à de tels dessins, les élèves savent qu'il y a erreur, mais restent désarmés (ce sont, en fait, des dessins où deux portions obéissent à deux systèmes différents de code de la perspective).

Pour ces dernières stratégies, le cube reste l'objet-unité, une entité globale que les élèves traitent d'emblée. C'est pour cette raison qu'elles peuvent aboutir à des dessins faux, composés de portions justes chacune selon un code différent de la perspective.

Suite à la faillite de ces deux catégories de stratégies, la recherche d'un moyen économique de traitement, selon lequel on puisse prévenir l'instabilité de la vision, mène à la reconnaissance de portions de plans comme entités unifiées du dessin : des référentiels locaux, par rapport auxquels seront repérés des ensembles d'éléments de la configuration, et testés, par suite, des ensembles de traits. Ces référentiels tendent à devenir de plus en plus globaux, en intégrant d'autres portions du dessin vérifiant les mêmes propriétés géométriques : alignements, connexité, etc... cette tendance vers la globalité est fondée sur

un souci d'économie, et d'unification du traitement graphique pour une famille de plus en plus grande de segments.

Présentons, par les séquences de dessins commentés suivantes, une classification des productions des élèves, et leur évolution à travers les trois stratégies explicitées ci-dessus :

III.3.2. Classification des productions :

Commençons par rappeler que, pour chacun des trois ateliers d'informatique où l'expérience a eu lieu, un dessin différent a été proposé. Dans l'annexe, sont explicitées quelques représentations possibles d'assemblages de cubes opaques (4 pour les élèves de CPPN, 8 pour les élèves de 3°.86 et 8 pour les élèves de 3°.87).

Signalons, d'autre part, que parmi les productions des élèves, aucune représentation d'assemblage ayant plus de deux niveaux de profondeur ne s'est présentée (un exemple de cette famille est donné par la fig.II.17). Pour cela, nous limiterons notre analyse aux représentations possibles d'assemblages de cubes ayant au plus deux niveaux de profondeur.

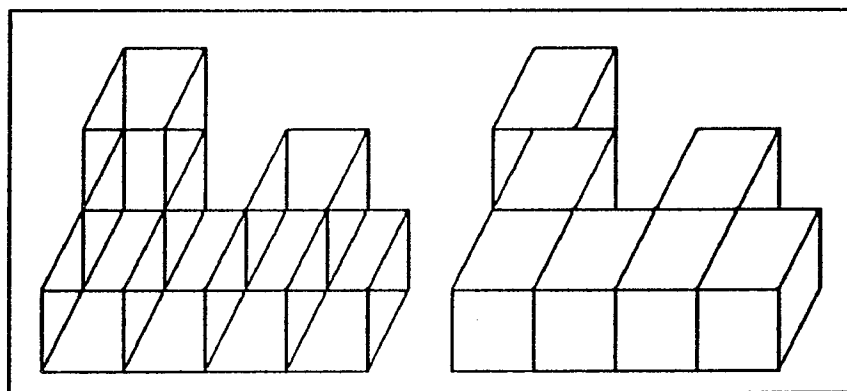
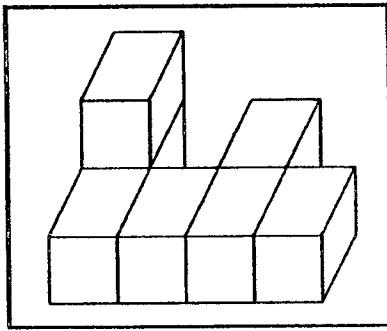
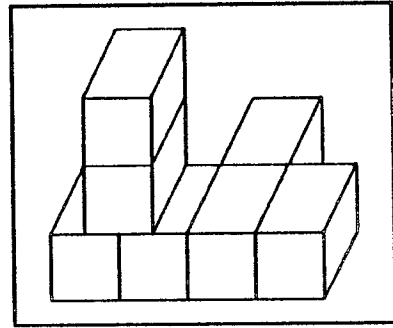


fig.II.17

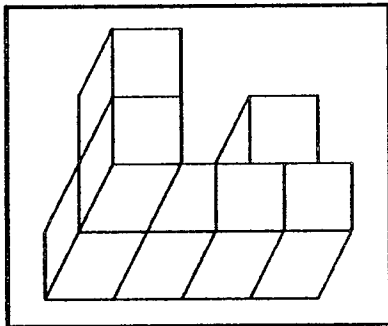
Dans chacun des cas ($n = 5, 6$ ou 7), les représentations possibles d'assemblages peuvent être classées en plusieurs catégories, selon au moins deux critères : la perspective selon laquelle l'assemblage est représenté ("face, dessus, droite" ou "face, dessous, gauche") et le nombre de cubes décalés, dans l'assemblage représenté, par rapport à la barre horizontale de base. Ainsi, pour désigner les différentes représentations possibles, nous utiliserons une nomenclature basée sur ces deux critères, comme le montrent les exemples suivants, concernant le dessin proposé aux élèves de 3°.87 (fig.II.18) :



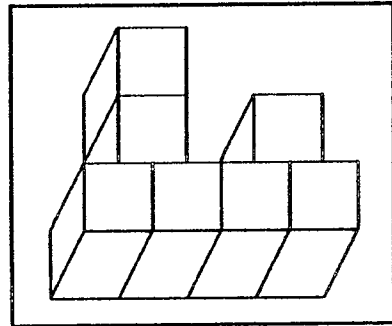
"face, dessus, droite", 0 cube décalé



("f,d,d", 2)



"face, dessous, gauche", 1 cube décalé



("f,d,g", 3)

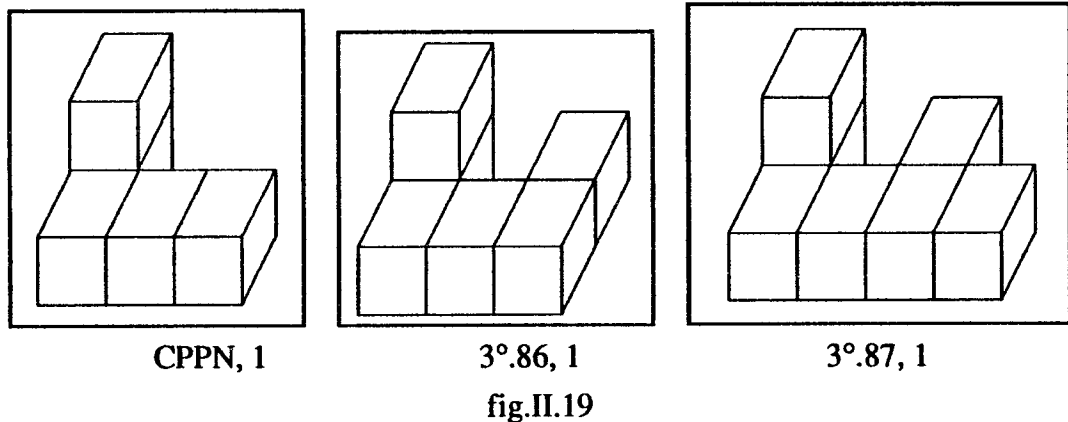
fig.II.18

.... et ainsi de suite.

a) Hierarchie des représentations :

Les séries de productions graphiques enregistrées des élèves dans les trois ateliers a montré l'existence d'une hiérarchie assez générale entre les représentations qu'il est possible de dégager des dessins proposés. Cette hiérarchie s'est manifestée par l'ordre des représentations apparues, et par les difficultés rencontrées et le nombre des reprises à zéro au cours de la mise en évidence de telle ou telle représentation.

Une représentation particulière est apparue systématiquement chez tous les élèves, et presque pour tous, comme première représentation mise en évidence. C'est la représentation " 'f,d,d', 0 cube décalé" (fig.II.19). Nous pensons que c'est la représentation la plus usuelle, favorisée par la culture, par une perspective plus souvent utilisée ("f,d,d") et par une certaine idée de la composition des cubes : les faces doivent se superposer.



La suivante a souvent été la représentation selon l'autre direction de vue : " 'f,d,g', 0 cube décalé". Pour les élèves, c'était, à première vue, le même assemblage "vu de dos.... ou vu de derrière".

Arrivent ensuite, dans cette hiérarchie, les représentations d'assemblages qui présentent des décalages. On peut dire qu'entre les deux représentations évoquées ci-dessus et celles présentant des décalages, il existe un "saut perceptif et informationnel". En effet, tous les élèves ont éprouvé des difficultés à trouver, à percevoir puis à réaliser la première représentation de cette catégorie. Mais, dès que cette première représentation a été trouvée, les autres en découlaient rapidement. Nous supposons que deux facteurs y sont influents :

- * le dépassement d'une contrainte que les élèves s'imposent, concernant la superposition des faces des cubes composants; après la première représentation présentant des décalages, cette contrainte a disparu; dans leur activité perceptive, les élèves chercheront alors d'autres représentations de la même catégorie, d'où l'intentionnalité dans la perception qui oriente vers la recherche de relations particulières entre les composants (saut perceptif);

- * ayant trouvé la première représentation de cette catégorie, les élèves savent qu'ils peuvent en trouver d'autres de la même catégorie; ils sont sûrs de trouver, au moins, la représentation selon l'autre perspective, d'une configuration correspondante à celle déjà trouvée (saut informationnel).

b) Moyens de contrôle que possèdent les élèves :

1) la perception

L'analyse des activités des élèves a révélé que la perception (dans le sens intuitif) a eu, dans cette situation, un statut et un rôle particuliers : moyen de contrôle le plus immédiat et le plus naturel, elle a servi à contrôler quelques configurations, ou des portions de quelques configurations, mais elle n'a pas été le moyen de contrôle privilégié. Encore plus, elle a fonctionné, dans une grande partie de l'activité des élèves, comme un obstacle, car c'est contre elle que devaient se construire la reconnaissance de la configuration à travers le dessin et le traitement de ce dernier pour la mettre en évidence.

Ce statut d'obstacle à dépasser a été accentué par la multitude des représentations possibles, et par l'instabilité de la perception, constamment trompée par les alignements de segments qui peuvent aussi bien représenter des arêtes alignées que des arêtes situées à des niveaux de hauteur et de profondeur différents. Donnons un exemple ((David, Rachel); fig.II.20) : Arrivés au stade d'effacement représenté par la figure, et en supposant qu'ils mènent leur activité intelligiblement, les deux élèves s'étaient déjà fixé une perspective déterminée ("face, dessus, droite"), et une configuration admettant au moins deux cubes décalés. Leur configuration peut donc être représentée par : ("f,d,d", ≥ 2)

R: attends, je vois plus mon truc

D: moi non plus..... ah si, ça y est, maintenant je le revois

R: tu le vois derrière, le petit cube, c'est ça ?

D: oui.... tu effaces... euh...

R: attends, on va faire ceux-là pendant qu'on y est (elle veut effacer CD et EF)

D: non, fais d'abord celui-là et celui-là (les segments BI et AB).... efface plutôt là, pendant que je le vois, parce que après, moi, je ne le verrai peut-être plus

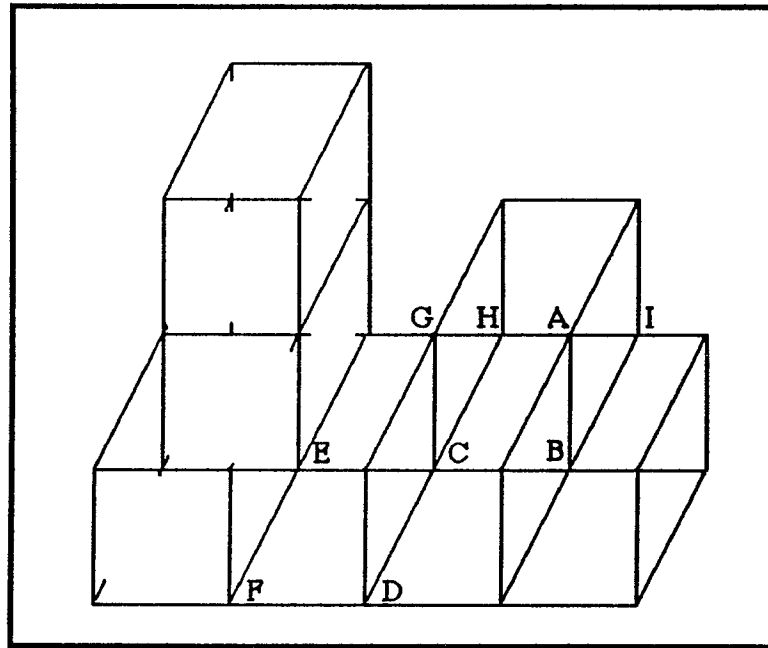


fig.II.20

En fait, la partie non encore traitée du dessin peut représenter trois configurations différentes; Si on suppose que les élèves s'étaient construit, avant de commencer l'effacement, une représentation d'une configuration qui peut être représentée par le dessin, le temps que l'effacement de la partie traitée ait été effectué fut suffisant pour que la perception évoquant cette configuration soit contrée par d'autres. Les configurations qui résulteraient de "possibilité3 et possibilité4" (fig.II.21) aboutiraient à des dessins qui rompent avec le code de la perspective, déterminé par la partie déjà traitée. Pour cela, nous pensons que les élèves les écartent. Mais ceci n'empêche que ces manières de "voir" peuvent perturber les deux autres, possibles dans le cas de la perspective adoptée ("f,d,d").

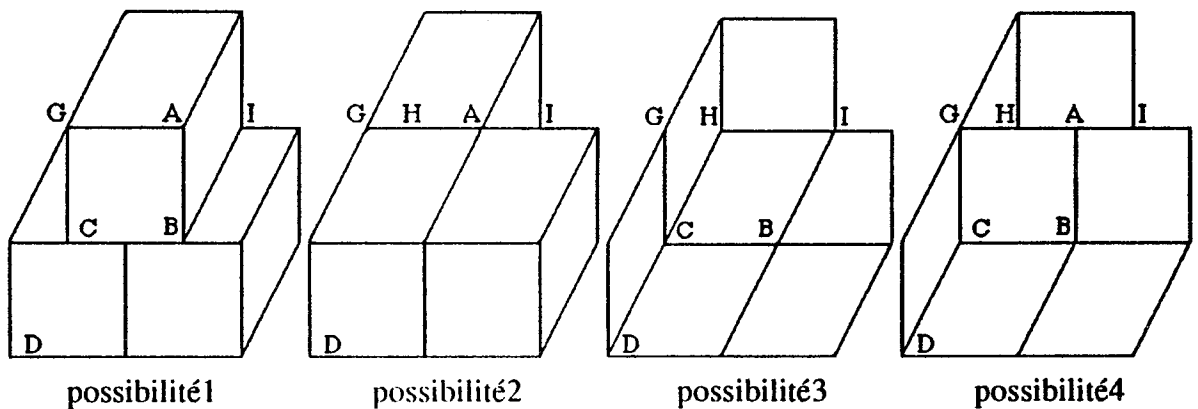


fig.II.21

D'après la dernière proposition de David (d'effacer rapidement AB et BI), c'est la possibilité² (configuration ("f,d,d", 2)) qu'il voulait fixer matériellement, sur le dessin, car il ne réussissait pas à la fixer perceptivement.

Ce phénomène, résultant de la fragilité de la perception, a été fréquemment repéré chez les élèves. La situation d'interaction entre les deux partenaires d'un même binôme a favorisé une tendance à l'explicitation de relations entre les composants, pour que l'un d'eux puisse décrire à l'autre, avant de la perdre de "vue", la configuration qu'il veut mettre en évidence :

(Olivier, Stéphane)

S: parfois je regarde, je vois dans l'autre sens.... eh ho !! je l'ai vu d'une autre façon pendant un certain moment.... c'est à dire.. le machin, il est déplacé... il est entre les deux

O: vas-y, fais-le vite.. vite, efface

S: donne ça, j'efface... il faut pas cligner des yeux, c'est dur...

O: dis-moi ce qu'il faut effacer

S: je ne sais plus.... j'ai cligné de l'œil... (ils rigolent)

O: dis-moi ce qu'il y a derrière, ce qu'on voit à travers,.... ce qu'il y a devant... tout ça... je le verrais moi aussi, peut-être

2) composition à l'aide de cubes réels

Que ce soit pour prévenir l'instabilité de la perception, ou pour soutenir une idée par un argument "tangibles", des élèves ont eu recours aux objets réels, en composant la configuration "vue" avec des cubes réels. Ce moyen leur était disponible, car ils avaient à leur disposition un nombre de cubes en bois, égal au nombre de cubes composant les configurations représentables par le dessin en question (5 pour les élèves de CPPN, 6 pour les élèves de 3^o.86 et 8 pour les élèves de 3^o.87). D'autre part, ils disposaient de bande adhésive, pour coller les cubes d'un assemblage construit, dans le cas où ils devaient le manipuler ou le regarder sous différents points de vue (surtout pour les configurations représentées en perspective "f,d,g").

Or, quoiqu'il puisse fonctionner pour un nombre limité de cas, ce moyen de contrôle a un domaine de validité restreint: en effet, la perspective cavalière, moyen de représentation conventionnel, n'est lié à aucun point de vue possible (observateur rejeté à l'infini).

S: c'est dur de le voir, tu sais ? en fait, c'est pas une position de vue, c'est une position d'imagination

D'autre part, si ce moyen de contrôle permet de dégager des correspondances entre les arêtes de l'objet réel et certains segments du dessin-squelette, il reste tributaire des manipulations et des orientations faciles, presque gratuites sur l'objet, relevant du micro-espace. Ces manipulations peuvent causer une rupture avec le point de vue imposé par le dessin. Finalement, les cubes réels utilisés sont en bois, donc non transparents; ceci fait qu'ils ne donnent pas d'information pertinente à propos des segments qui doivent être cachés.

(Olivier, Stève (3°.86)), fig.II.22 :

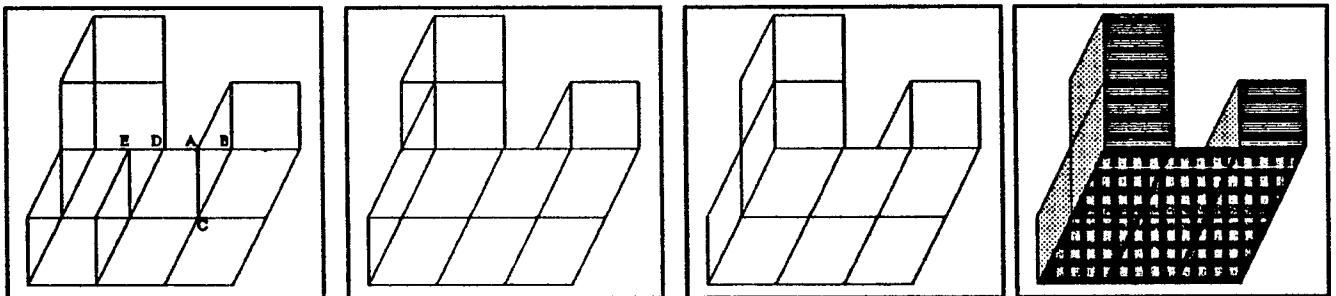


fig.II.22

O: ça ne va pas... non, je crois que ça ne va pas

S: si, ça va

O: tu vois cette plaque que tu as fait là ?

S: mais on le voit pas, le cube; parce que c'est en vue de dessous

O: mais c'est pas des cubes.... (silence, il fixe le dessin)... non, ça y est pas; on voit la vue de dessous, mais là c'est pas un cube.... là, il y aurait une arête là... tu vois là, c'est creux... attends, on va le faire (ils composent l'assemblage avec des cubes réels)

O: voilà...; moi, je dis que celui-là (AC), il est au premier plan, pas celui-là (BD)... c'était le contraire.... c'est celui-là qui est au premier plan, et celui-là il faut l'enlever; il faut qu'on efface celui-là

S: si, mais on voit pas tout parce que c'est caché par la vue de dessous

O: mais voilà, regarde, sur le machin, on le voit on la voit, l'arête (AE)

S: mais c'est parce que tu le tiens comme ça.... si tu le penches comme ça, on voit plus rien (il incline encore l'objet vers le haut)

3) nombre de cubes

(suite du dialogue précédent entre Olivier et Stève)

O:[....]... si je te dis... (court silence, ils regardent le dessin)... de toute manière, on en a trop, de cubes.... (il compte) on en a au moins 7 et nous, on veut que 6

Ainsi, la faillite du moyen de contrôle précédent en fait apparaître un autre, comme argument pour convaincre le partenaire. C'est le contrôle par le nombre des cubes composants.

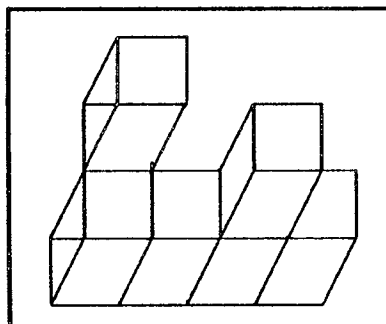


fig.II.23

(Eric, Richard), fig.II.23 :

R: non, ça ne va pas, il fait bizarre

E: il est bien, je te dis, on perd du temps là; il faut en faire un autre

R: mais comment il tient celui-là? en plus il en manque un... on en 6; normalement on doit en avoir 7

E: (il compte)... c'est vrai, on en a 6... mais peut-être qu'on le voit pas, le 7°

Quoiqu'il ait fonctionné dans certains cas, comme dans le cas présent où il y a eu reconstruction de quelques composants du dessin, ce moyen de contrôle reste compromis par la nature de la perspective, et par l'éventualité qu'il existe des "cubes cachés", comme le montre la dernière réplique d'Eric.

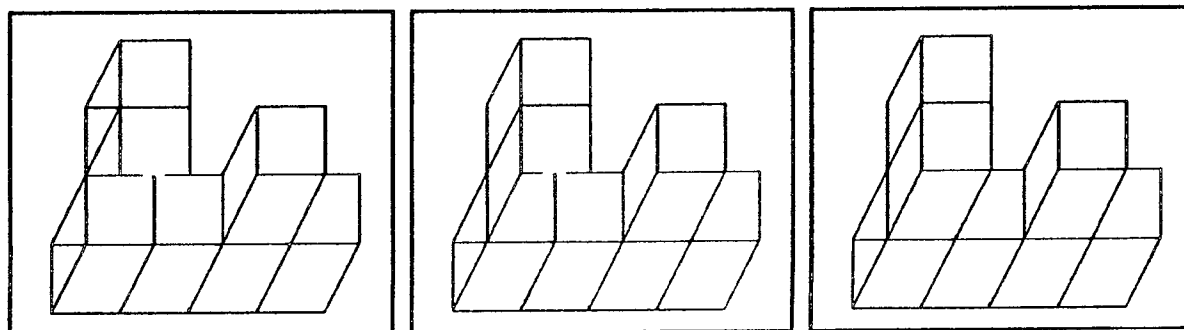


fig.II.24

Signalons qu'au cours de la reconstruction (fig.II.24), la première étape a induit une représentation d'un assemblage à décalage.

R: ah mais...finis, finis de remettre les traits là..et après on va faire celui-là...ça nous en fera un autre

4) deux directions de vue différentes

Comme nous l'avons signalé plus haut, l'activité présente a été précédée par une activité annexe, au cours de la quelle les élèves ont pris conscience de l'existence, et de la possibilité de lire le dessin selon deux directions d'observation différentes, deux perspectives : "face, dessus, droite" et "face, dessous, gauche". De par cette double possibilité, et à chaque fois qu'ils trouvent une représentation possible d'une configuration, les élèves pouvaient prévoir l'existence de la représentation d'une autre configuration qui lui correspond, dans le sens qu'entre les deux il existe certaines relations : " *tu vois, ce cube-là, il passe devant, ces deux cubes aussi, et on voit le tout par-dessous* ".

Ainsi, les élèves pouvaient aborder l'espace graphique du dessin avec une structuration déjà élaborée de l'espace de l'objet à voir. Cette intentionnalité dans la perception, basée sur une représentation imagée déjà existante influence même la perception, et favorise la recherche de relations entre les composants qui peuvent pallier sa fragilité.

((Eric, Richard); après avoir réalisé l'assemblage le plus usuel)

E: maintenant, on va faire l'autre perspective... comme ça (il indique avec la main une direction d'observation)

R: ça va être dur

E: voilà... il faut le voir... en plongeant comme ça... donc, il nous faut éliminer... ces traits là... ça fera en profondeur... comme ça... donc, il faut déjà enlever ces traits; ils sont cachés par le dessous

5) existence de configurations à cubes décalés

Une fois maîtrisé et mis en évidence, ce moyen de contrôle fonctionne d'une manière analogue au précédent. En effet, en partant de l'hypothèse qu'il existe des configurations qui présentent des cubes décalés, et en se basant sur la représentation de la barre

horizontale de cubes (qui existe dans les trois dessins proposés), les élèves ont recherché de telles configurations et les relations géométriques qui peuvent les garantir.

6) Moyens de contrôle 4 + 5 ==> une combinatoire

Ce moyen de contrôle a été mis en évidence assez tardivement, après que les élèves (qui ont pu y arriver), aient envisagé plusieurs représentations possibles, et aient pu dégager des relations entre les configurations représentées selon les deux critères :

- * perspective "f,d,d" ou "f,d,g",
- * "cube décalé" ou non, que ce soit pour le cube isolé ou pour la pile de deux cubes.

Une telle combinatoire a déclenché, d'un coup, un projet prévoyant plusieurs représentations possibles, avant même que ces représentations aient pu être "vues" à travers le dessin. Ceci a encore plus favorisé l'intentionnalité dans la perception, basée sur :

- * des relations topologiques entre les cubes composant l'assemblage visé, relations par lesquelles les élèves contrôlent mentalement cet assemblage et le fixent contre les ambiguïtés perceptives,
- * la réalisation de ces relations par la recherche et le contrôle de relations projectives entre les segments composant le dessin, à travers une relation permanente entre la configuration spatiale et sa représentation.

(David, Rachel) (après avoir réalisé l'assemblage "pile décalée, cube derrière")

R: c'est le même, en mettant un cube par-dessus,... et... mais ça on l'a fait... attends... avant, on a vu tous les deux derrière.... oui, ça va aller.... maintenant on va faire tous les deux dessus; et après, on fera pareil, on les fera dans l'autre sens... par-dessus

7) Importance de la vue de face :

A travers l'intentionnalité dans la perception, nous avons noté une stratégie, assez générale chez les élèves, de contrôler la représentation qu'il veulent fixer à travers la vue de face correspondante. Même lorsque la perception n'était pas guidée par une intention de "voir" une configuration particulière, la recherche parmi les portions du dessin, de ce qui peut représenter un assemblage de cubes a été fréquemment contrôlée par la recherche d'une famille de carrés voisins, connexes, qui peuvent constituer une vue de face adéquate. Dans les cas où cette mise en relation de ces surfaces carrées était cohérente avec une

représentation possible d'assemblages de cubes, ce procédé a pu amener les élèves à "voir" la configuration correspondante.

R: il va falloir prendre une petite idée pour voir une face, puis prendre des diagonales (elle veut dire : des fuyantes)... comme ça on a une perspective

Ce procédé, mis en évidence à travers les productions et les interactions des élèves, rappelle le procédé de "transposition" de la vue de face à partir de la perspective (ici, à travers un squelette de l'objet), résultat mis en évidence par des recherches autour des performances et compétences dans des épreuves de lecture de forme en dessin technique (Zougari, Weill-Fassina, Vermersch, 1984)

c) Exemples illustrant les stratégies des élèves :

Dans ce paragraphe, nous exposerons quelques-uns des dessins produits par les élèves, le long de leur activité, en essayant de les situer par rapport à l'évolution assez générale que nous avons notée à travers les trois stratégies relatées au § III.3.1.

Première stratégie : traitement segment par segment

Elle est apparue au début de l'activité de tous les élèves, pour une durée plus ou moins longue. Cette stratégie a pu fonctionner pour le décodage et la réalisation de la représentation du premier assemblage, le plus usuel ("f,d,d", 0 cube décalé). En effet, la réalisation s'effectuait avec une "représentation imagée" (au sens de Courty, 1987) précise de l'assemblage visé, cohérente le long de l'activité d'effacement et assez stable.

Mais cette stratégie perd de son efficacité dès que l'activité concerne une autre représentation, moins usuelle. Alors, l'activité perceptive doit être mieux contrôlée. L'instabilité de la perception exige un traitement de plus en plus global, pour pallier la perte de l'assemblage perçu.

D'autre part, le maintien de cette stratégie peut aboutir à des productions fausses, comme celle de (Eric, Richard), au cours de leur réalisation de la deuxième représentation possible :

(Eric, Richard), fig.II.25 :

E: et celui-là (il parle du segment [A,B]), on le voit ? ou il est caché ?... j'arrive plus à voir

R: si, il est caché par cette face (BCDE)... parce qu'on voit la vue de dessous

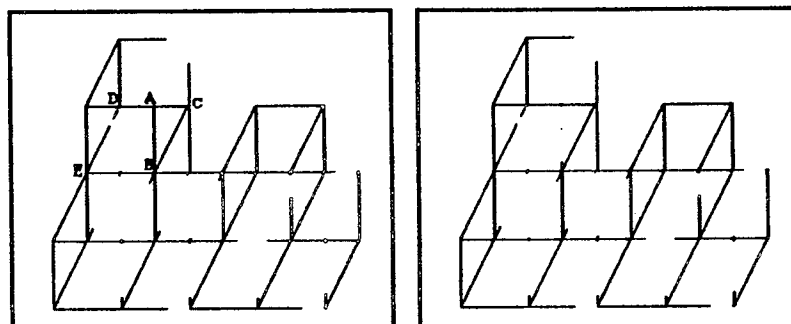


fig.II.25

Ainsi, le trait concerné est traité en fonction de son voisinage proche, sans tenir compte de la globalité de la représentation, et des relations projectives entre ce voisinage et les autres composants. Un tel traitement aboutit, comme on le voit, à des dessins qui ne peuvent être interprétés comme représentations possibles, ou même comme étapes vers des représentations possibles d'assemblages de cubes, selon l'une ou l'autre des perspectives.

Au cours de l'application de cette méthode, nous avons noté dans l'activité de quelques élèves une tendance vers le traitement de segments de plus en plus similaires, par leur statut par rapport à la configuration. Ceci révèle une tendance vers des traitements plus économiques, qui ont pu, dès la réalisation de la première représentation possible, révéler une genèse de l'une ou l'autre des deux stratégies plus élaborées : soit par le traitement de segments ayant en commun la propriété qu'ils concernent le même cube, soit par le traitement de segments ayant des positions analogues par rapport à des surfaces planes. Or, les difficultés de réalisation de la représentation présente et l'activité perceptive nécessaire à la contrôler ne sont pas suffisamment contraignantes pour obliger une mise en œuvre contrôlée d'un tel théorème en acte, ni à son explicitation.

C'est ce qu'on peut remarquer, par exemple, dans la suite suivante de réalisations de (Olivier, Stéphane). ((Olivier, Stéphane); au début; fig.II.26)

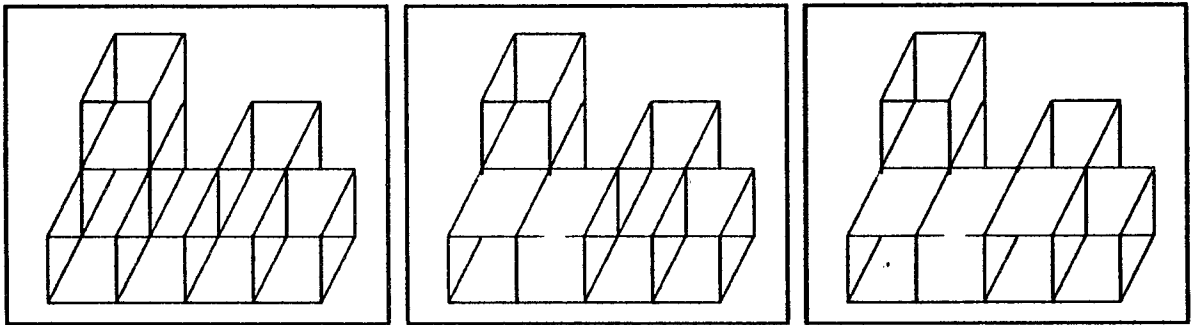


fig.II.26

Deuxième stratégie : Traitement cube par cube

Cette stratégie remet au premier lieu le cube comme unité composante, et comme entité globale non destructible. Cette stratégie a été utilisée par les élèves pour pallier la difficulté de garder longtemps "en vue" la configuration globale représentée telle qu'on peut la percevoir, sous l'une ou l'autre des deux perspectives possibles. Les élèves ont alors recours à des effacements locaux, ayant pour objectif la mise en évidence de cubes entiers. Cette stratégie est davantage basée sur des relations topologiques (composition éventuelle d'un objet et positions relatives des cubes les uns par rapport aux autres) que sur des relations projectives. Souvent, elle a amené à des résultats erronés que l'on peut classer selon deux catégories, représentées par les deux exemples suivants :

catégorie1 :

C'est la catégorie des dessins dont deux portions sont représentées selon les deux perspectives différentes.

((Olivier, Stéphane); après la configuration la plus usuelle)

O: on l'a fait dans ce sens-là; maintenant, on le fait dans ce sens-là; t'es d'accord ?

S: ben, oui... parce qu'il est dans ce sens

O: tu prends déjà...; attends, oh là là ! je ne peux plus le voir...

S: attends, on va essayer... on va faire déjà cette barre (ils opacifient la barre de 4 cubes, f,d,g")

O: voilà, c'est super, il ne reste que ces cubes là.... fais ces deux là d'abord

Et la pile de deux cubes, qui a été traitée indépendamment du reste du dessin, a été opacifiée selon la perspective "f,d,d" (fig.II.27)... de même que le cube isolé. Devant de tels résultats, les élèves savent qu'il y a erreur, peuvent même l'exprimer : "*ceux-là vont dans ce sens, et ceux-là vont dans l'autre sens*", mais réussissent rarement à reconstituer la représentation à partir du résultat erroné.

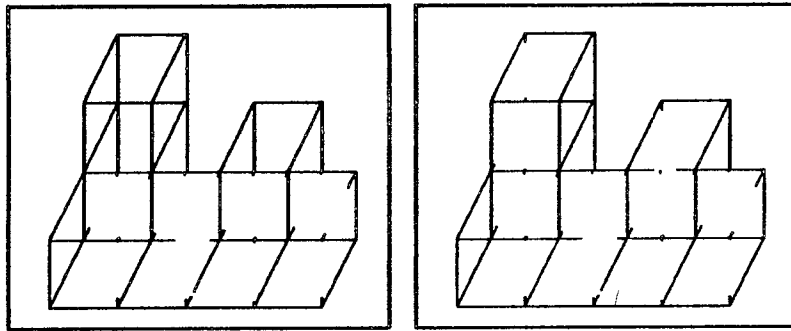


fig.II.27

Un retour au moins à la première étape est nécessaire (celle où la barre horizontale de cubes vient d'être opacifiée). Ce genre de résultats a été repéré dans les trois ateliers, donc à tous les niveaux : de capacités des élèves, et de difficulté du dessin proposé. Donnons un exemple de la classe de CPPN :

(Nordine, Thierry (CPPN); fig.II.28)

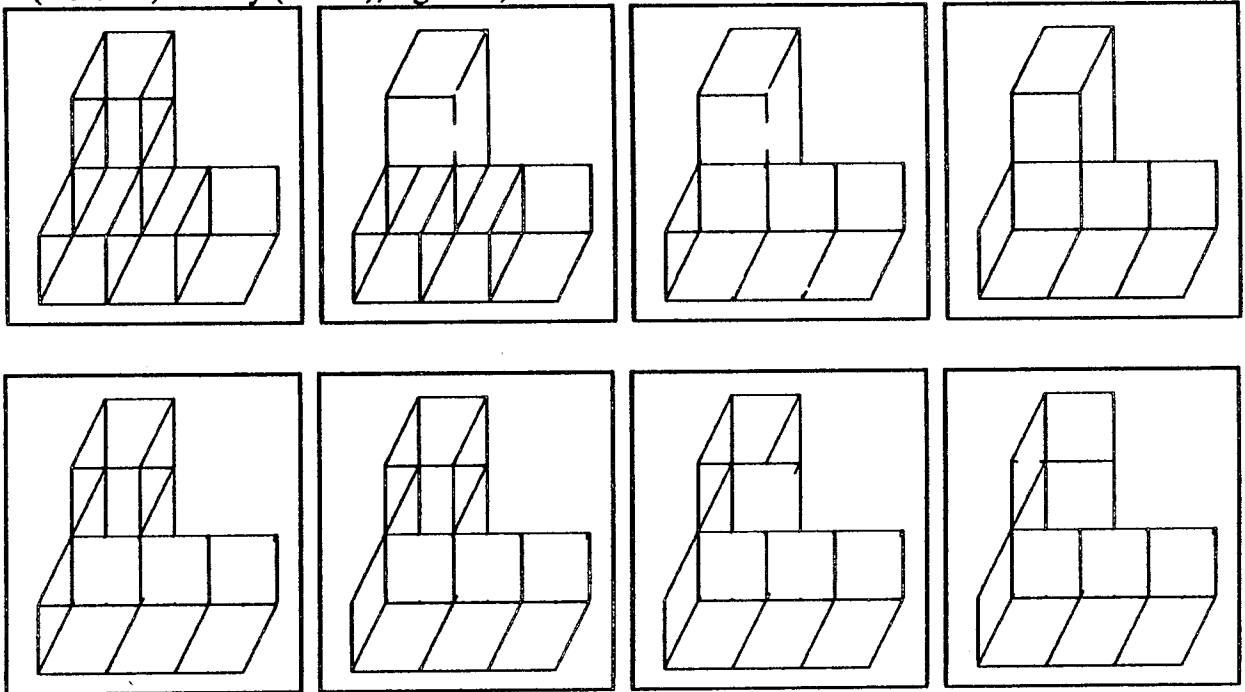


fig.II.28

catégorie2 :

C'est la catégorie de dessins représentant une configuration contenant un nombre moindre de cubes, à cause du fait que celui qui manque aurait été représenté par un seul trait, ce qui est difficilement acceptable par les élèves lorsque le traitement se fait cube par cube. En effet, considérer le cube comme entité globale et non décomposable exige implicitement qu'il soit représenté par un certain nombre appréciable de segments (de toute manière plus qu'un seul) :

(Sylvie, Zouina (CPPN); fig.II.29)

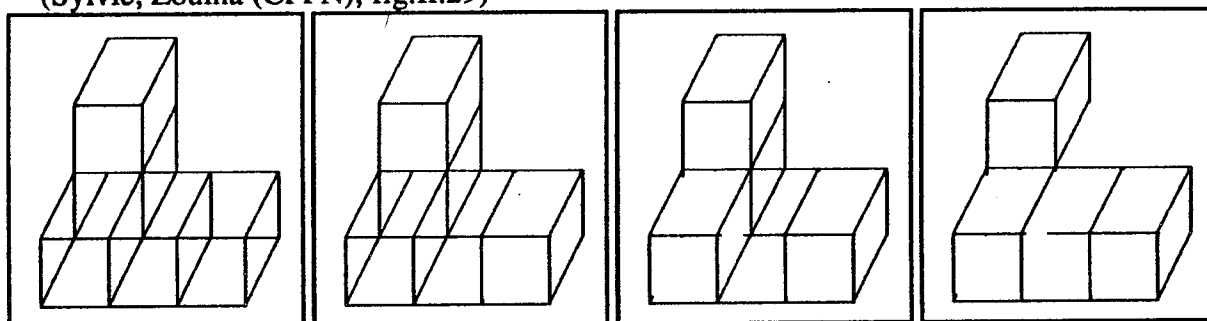


fig.II.29

Mécontentes du résultat, les deux élèves l'ont rectifié pour aboutir à un autre, basé sur le même principe (fig.II.30) :

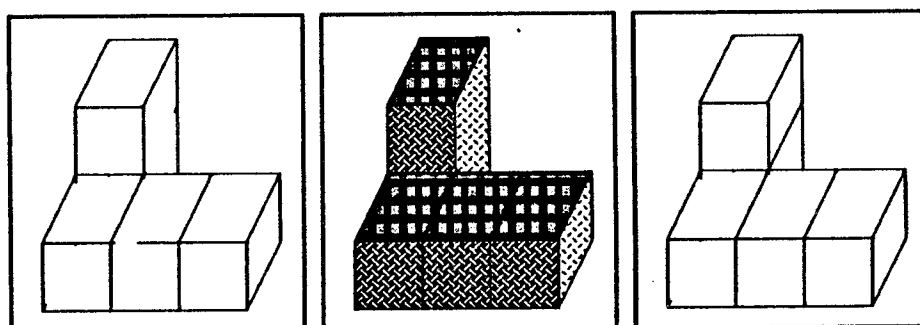


fig.II.30

catégorie 1+2

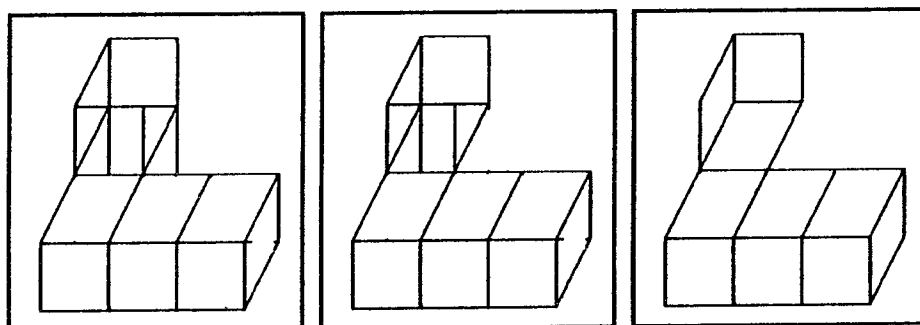


fig.II.31

(Manuel, Franck (CPPN); fig.II.31)

M: non, il manque quelque chose.... il est bizarre

F: comment, bizarre ?... (silence, ils fixent le dessin).. ben oui, ça fait bizarre

M: là, ça fait droit, puis après là, ça fait penché

F: ici, on regarde d'en haut... mais là, comme si on voyait de dessous

M: ça ne va pas... il faut refaire

Troisième stratégie :

Nous la considérons comme l'aboutissement théorique des stratégies évoquées plus haut et de la faillite ou de la non sûreté des moyens de contrôle déjà utilisés. Elle repose sur la construction par les élèves d'un moyen de contrôle basé sur des objets géométriques abstraits, construits par la destruction de l'entité "cube", et la mise en rapport de plusieurs composants plans pour concevoir, par extension, des plans selon les trois directions principales de l'espace.

Les dernières étapes (qui ont pris naissance plus ou moins tôt par rapport à l'activité des élèves) ont été marquées par des tendances vers cette stratégie, à travers son application sous forme de "théorème en acte" plus ou moins explicité, pour des portions plus ou moins globales des configurations traitées. Pour au moins quatre cas, nous pouvons déclarer qu'elle a été explicitée et formulée.

(Olivier, Stéphane); fig.II.32 :

O: ah oui, je le revois... tu fais pareil, comme l'autre.... ce qu'il faut, en fait, c'est tac tac tac... t'as la vue de face, la vue de dessous et la vue de côté (il prend la relève et commence à effacer)

S: ah oui !! je vois ce qu'il faut enlever.... il faut enlever les traits parallèles.... de ce côté... puis de côté

O: ah ben, tu comprends ce que je fais alors

S: maintenant oui... mais tout à l'heure, non... il faut que tu enlèves les traits qui sont dans ce sens, d'accord... oui, je vois.... c'est dur à voir, n'empêche.... le fait, c'est qu'il faut voir toute la face.... là, tout à l'heure, on a vu qu'une partie.... c'est pour ça qu'on s'est gourré

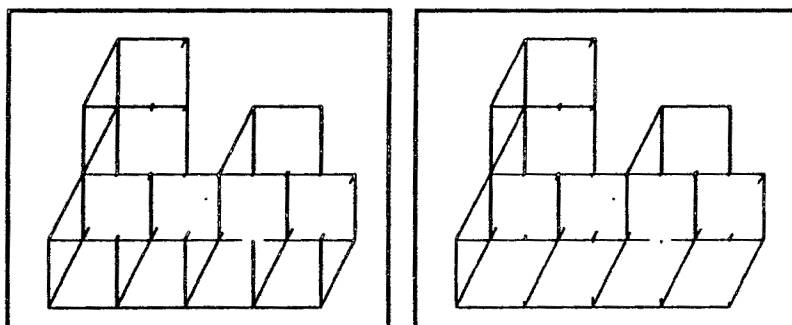


fig.II.32

Cet extrait montre bien l'extension progressive des référentiels plans. A la différence des autres moyens de contrôle, ce moyen est caractérisé par un plus haut degré de sûreté :

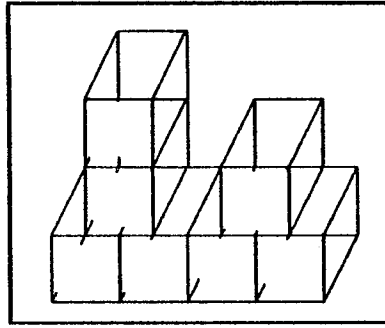


fig.II.33

(David, Rachel); fig.II.33 :

R: j'ai fait déjà toutes celles qui sont cachées par la vue de face... toutes celles que.... j'en suis sûre.... maintenant,.... (elle continue l'effacement)

D: qu'est-ce que tu fais ?

R: ben... j'enlève aussi... je prends toutes celles... tout ce qui est vue de dessus.... enfin... tout ce qui est caché par la vue de dessus...

Est-ce un automatisme ?

La manière dont cette règle a été explicitée par les élèves peut évoquer un certain automatisme qui porte des risques que, désormais, l'activité des élèves se restreigne à un traitement basé sur des calculs qui ne relèvent plus que du dessin plan, caractérisés par une rupture avec la configuration spatiale représentée et ses caractéristiques. En réalité, le déroulement des faits a montré que cette crainte n'est pas fondée, ceci pour plusieurs raisons :

* la première est liée à la genèse de cette règle : son apparition a été l'aboutissement d'une longue interaction entre les élèves, et entre eux et les représentations obtenues et intermédiaires; elle est apparue progressivement, et elle s'est basée sur la relation permanente entre la configuration spatiale et sa représentation graphique;

* la deuxième est liée aux conditions d'application de cette règle : pour mettre en évidence une représentation particulière, la règle ne peut commencer à être mise en œuvre et applicable qu'après que les élèves se sont représenté une configuration spatiale bien définie et contrôlée par sa structuration spatiale. C'est à partir de cette représentation que seront repérés la face, le dessus (ou le dessous) et le côté de l'objet concerné, que sera fait le lien entre ces plans de l'espace et les frontières de leur représentation graphique au sein du dessin, et que finalement sera mise en œuvre la règle;

* la troisième est liée aux risques qui accompagnent l'application de cette règle selon un automatisme qui rompt avec la configuration spatiale représentée. Illustrons par un exemple :

(David, Rachel); fig.II.34 :

D: puis tout ça... il faut enlever ce qu'il y a à l'intérieur de tout ça... le dessous

R: attends, il y a un problème là; ça fait bizarre avec ça, là... ça fait pas des cubes

D: comment, ça fait pas des cubes ?... (après un silence, où il fixait le dessin) oui, c'est vrai... là on n'a pas de cube

R: ça fait comme une... ah si !!... si, si, le cube il est là, il faut enlever ce trait là

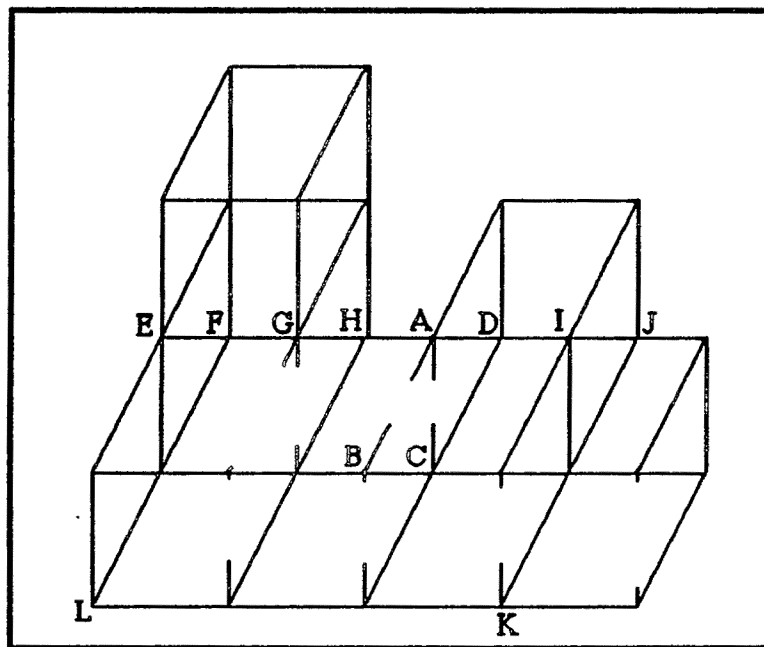


fig.II.34

Ce passage montre que l'automatisme dans l'effacement peut entraîner les élèves dans un procédé qui aboutit à un résultat erroné. Ce n'est que par la reprise en main de la situation, par la restauration du lien rompu entre la configuration spatiale et le dessin progressivement traité, et par la redéfinition des frontières des représentants des trois façades de l'objet, que les élèves peuvent pallier de tels phénomènes, favorisés par les alignements de la perspective adoptée : dans la figure précédente, l'alignement trompeur des points E, F, G, H, A, D, I, J crée l'illusion de l'existence d'une plaque plane, mise en évidence par l'unification des facettes composant le parallélogramme FJKL. C'est ainsi qu'en un premier temps ont été traités les segments AB et AC de manière analogue à celle des autres couples de segments normalement cachés par le dessous de l'objet représenté.

Dans les cas où les élèves ne se sont pas rendus compte à temps de cette erreur résultant de l'automatisme d'effacement, la reconstruction pour corriger la représentation a été coûteuse (elle a fait perdre trop de temps au binôme concerné).

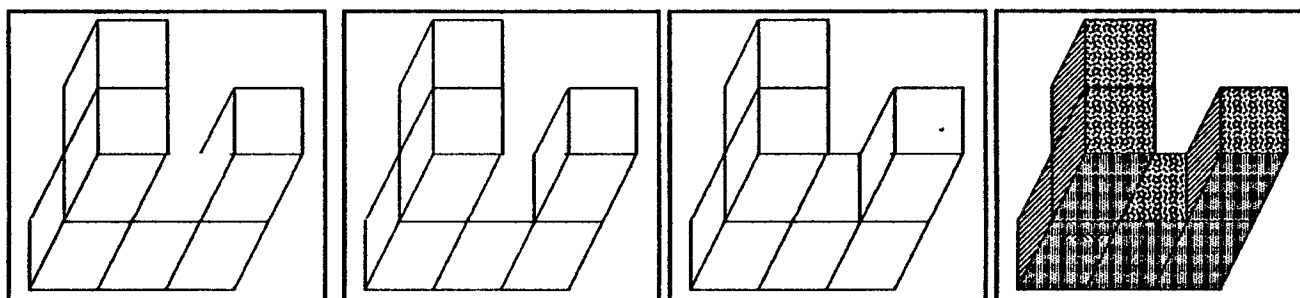


fig.II.35

Nous terminons ce chapitre en rappelant que la phase d'institutionnalisation a mis en évidence cette règle comme le moyen le plus sûr parmi ceux qui ont été utilisés. Elle a aussi mis en évidence le réseau de plans structurant l'espace par un quadrillage selon les trois directions principales. Un ordre de traitement a aussi été mis en évidence, l'ordre selon lequel doit se faire progressivement l'effacement des segments qui doivent être cachés par les plans successifs dans chacune des directions principales de l'espace (surtout pour la deuxième modalité : celle visant à dégager des représentations d'assemblages de boîtes cubiques sans couvercle; activité théoriquement généralisable, par extension, à des assemblages de boîtes dans face "devant", ou sans "côté droit").

Signalons, enfin, qu'une telle structuration de l'espace prépare celle sous-jacente au logiciel Mac Space (cf. § II du chap.III).

Chapitre III

Analyse de Mac Space Phase d'initiation et étude du premier contact des élèves avec un logiciel complexe

I. Introduction et Préliminaires

Dans la partie concernant l'analyse de la tâche proposée, ainsi que l'analyse de l'activité correspondante des élèves, de nouvelles dimensions d'analyse seront introduites, de nouveaux concepts en seront les outils; ceci, de par la nature même de cette situation, et de par le rôle plus important qu'y occupera l'outil informatique : dans les situations précédentes, le logiciel utilisé (Mac Paint) est caractérisé par un niveau de transparence à l'utilisateur assez élevé, et des réponses de la machine directes et liées clairement aux manipulations et commandes. Les situations elles-mêmes ont été conçues de manière à n'impliquer qu'un nombre limité d'outils graphiques, simulant les outils usuels utilisés dans une situation classique de dessin (papier-crayon). Il n'en est pas de même de Mac Space. Comme on le verra lors de l'analyse de l'interaction avec ce dernier (cf. § III), il est caractérisé par un niveau plus haut d'opacité, par des sessions plus longues de "dialogue" entre la machine et l'utilisateur, et par le fait que quelques-unes des commandes ne manifestent pas d'effet direct à l'écran.

D'autre part, au niveau du contenu conceptuel et mathématique de ce logiciel, étudié au paragraphe (§ II), on peut dire que la tâche de représentation graphique de configurations spatiales se rapproche encore plus d'une situation de résolution de problème, où une algorithmisation de la tâche doit être effectuée, et où la réalisation du but doit être organisée, en fonction de la logique de fonctionnement du logiciel, en un algorithme structuré de sous-buts et d'opérations élémentaires. Ce fait est fortement lié à la représentation conceptuelle de l'espace qu'offre ce logiciel, et qui en fait un outil opératif de représentation de l'espace, par opposition à l'aspect figuratif caractérisant Mac Paint. Cette dimension de l'analyse sera mieux explicitée lors de l'analyse a priori des stratégies possibles de réalisation de représentations d'objets spatiaux particuliers.

D'après ces deux dimensions de l'analyse qui s'imposent, à savoir : l'interaction avec le logiciel, et les processus de résolution d'un problème à l'aide de ce logiciel, dimensions qui interagissent tout le long du processus d'apprentissage, nous adoptons la thèse de J. Rogalski qui, parlant du statut de l'introduction de l'informatique dans l'enseignement, déclare : "Notre thèse est que, d'une part, même si la perspective est centrée sur l'informatique comme "auxiliaire de pensée", selon la formule de C. Pair (s'exprimant en tant que Directeur des lycées, à propos de l'option informatique dans le second cycle), on ne peut échapper à la question des représentations que se font les élèves des concepts informatiques et à la question du fonctionnement cognitif dans ce domaine de connaissances; et que, d'autre part _ ne serait-ce que dans la perspective précédente _ l'alphabétisation informatique devient tout aussi nécessaire que l'initiation aux mathématiques pour tous ceux dont ce ne sera jamais la profession." (Rogalski 1985).

En harmonie avec cette double-thèse, notre étude comportera :

- une analyse des effets de l'interaction continue, entre l'élève et le logiciel (considéré comme un domaine de connaissance), sur le processus d'apprentissage et d'évolution des connaissances mathématiques visées. Cette analyse portera de même sur l'évolution des représentations que se font les élèves du fonctionnement de ce logiciel;

- une phase de familiarisation avec le logiciel, dont la construction et l'analyse mettront au premier plan la formation et l'évolution de concepts liés à ce logiciel, et d'une représentation de son fonctionnement. Les différentes raisons qui nous ont amenée à réaliser cette phase ont été exposées dans le § V.2.1 du chap.I. Son déroulement et son analyse seront étudiés au paragraphe § IV.

Dans ce qui suit, nous essayerons de délimiter un cadre théorique et méthodologique de l'analyse de la situation en question. Cette recherche, voulant étudier et évaluer le rôle que peut jouer l'outil informatique comme facteur intégré d'une situation d'apprentissage, ne peut que prendre appui sur la littérature développée, durant les deux dernières décennies, dans le domaine des facteurs humains, l'ergonomie des logiciels et l'interaction Homme-ordinateur. C'est dans ce domaine, et précisément dans les études concernant la résolution de problèmes à l'aide d'un dispositif technique que nous puiserons nos outils d'analyse.

L'interaction Homme-ordinateur est définie comme "se référant à l'usage direct et coopératif de l'ordinateur par des utilisateurs ayant une tâche à réaliser; leur travail principal pouvant être la programmation (cad. l'écriture de nouveaux programmes d'application ou la conception de systèmes de programmes), ou une tâche située dans un autre domaine que la programmation (cad. stockage ou pilotage)". (Schackel 1981, p.4 de la préface)

Spécifions, dans notre cas, les caractéristiques de chacun des trois éléments de la situation d'interaction, évoqués par cette définition :

1- Les utilisateurs : Des élèves dans une situation d'atelier informatique, ayant utilisé le matériel informatique concerné (Macintosh) durant les situations-problèmes précédentes et affrontant le logiciel particulier (Mac Space) pour la première fois. Ce sont donc, selon les classifications usuelles des ergonomes, des utilisateurs occasionnels non spécialisés.

2- L'ordinateur : Ce dont notre analyse s'occupera est davantage l'interaction avec le logiciel utilisé (software) qu'avec le matériel informatique (hardware) ou les fonctions de stockage et de gestion des documents (niveau système) ; en effet, nous considérons qu'à ce stade de la séquence, les élèves ont acquis une certaine maîtrise dans la manipulation de ces deux derniers niveaux. Notre analyse se concentrera donc autour de l'interaction avec les deux représentations, intimement liées, du logiciel : d'une part, sa "représentation conceptuelle" analysée dans le paragraphe II, et nous permettant de comprendre la logique de son fonctionnement et la conception particulière de l'espace qu'il représente, et d'autre part sa "représentation externe" (cf. § III), définissant son interface, "dispositif intermédiaire qui permet d'associer deux systèmes différents" (Barthet 1983), ici l'élève et le logiciel.

3- La tâche : Ne relevant pas du domaine de la programmation, la tâche proposée aux élèves se situe, plutôt, dans le domaine du pilotage, défini comme "la fonction qui consiste à déclencher les traitements, indiquer leur séquencement, définir les opérations, transférer un traitement ... le pilotage de chacun de ces éléments peut être effectué par l'homme ou par l'ordinateur"(Barthet 1983).

En effet, c'est une tâche de réalisation de représentations graphiques d'objets de l'espace tridimensionnel, à l'aide d'un logiciel qui prend en charge une partie de cette réalisation, à condition que des paramètres et des données adéquats lui soient communiqués par l'utilisateur à des moments précis de la réalisation, et dans un ordre bien déterminé.

L'étude des représentations (conceptuelle, interne et externe) du logiciel et de leurs liens nous permettra d'explicitier et de comprendre le partage des rôles entre les deux protagonistes du système : l'ordinateur et l'élève. Une telle explicitation est essentielle dans l'analyse de l'activité des élèves lors de la résolution des problèmes qui leur sont proposés. En effet, à travers et pour la réalisation de leur tâche, les élèves se construiront une représentation de ce partage d'opérations avec la machine : "comprendre le fonctionnement de la machine c'est aussi comprendre comment se répartissent les fonctions entre l'homme et les automatismes,

et pourquoi" (Montmollin 1986, p.46). Ceci se fera à travers la recherche de réponses à des questions comme :

Quelles données faut-il communiquer à l'ordinateur, sous quelle forme et à quel moment de la réalisation de la tâche ? A quels moments l'état du système permet-il l'intervention de l'utilisateur et à quels moments ne la permet-il pas ? Quelles opérations faut-il utiliser pour aboutir à un but précis, dans quel ordre, et quelle sera la part de l'ordinateur dans un tel travail ? ...

Les réponses à de telles questions, quoique nécessaires à l'utilisation et à la réalisation de tâches avec le logiciel, ne pourront être connues d'emblée ; un processus de construction de ces réponses accompagnera tout le travail de résolution des problèmes proposés, en fonction des besoins globaux ou élémentaires qui apparaîtront au fur et à mesure ; ce processus sera guidé par l'aspect interactif et conversationnel du logiciel, qui prend alors une grande importance, de par le changement de la situation suite aux interventions réciproques de l'Homme et de la machine.

Il nous paraît donc illusoire de dissocier l'organisation par l'élève de son activité de dessin, et la mise en oeuvre du dispositif d'exécution (le logiciel), défini par l'ensemble des opérations permises et leurs conditions d'utilisation. En effet une construction cognitive doit être faite par l'élève, intégrant à la fois, et en interaction fonctionnelle, sa conception d'une solution possible au problème, et sa représentation opératoire du fonctionnement du logiciel; l'élève doit transformer sa planification de la solution en un plan d'actions compatible avec la logique de ce dernier.

Réciproquement, la représentation externe du logiciel, par les signifiants d'outils graphiques, les signaux visuels (formes du curseur, clignotement, cadre rectangulaire indiquant la sélection d'une fenêtre) et les messages et sessions de dialogues qu'elle présente, peut contribuer à la modification, voire à la construction de stratégies de résolution. De ce point de vue, "la machine est source d'informations pour l'opérateur. Ces dernières constituent des signaux, niveau [...] abstrait des comportements de la machine. Ces signaux doivent être détectés par l'opérateur. Il est donc nécessaire que l'ergonome les identifie. C'est là un moment de l'analyse de la machine, dans la mesure où les signaux ont pour la plupart été conçus à cet effet par le constructeur et l'organisateur. Ceci nous amènera à discuter de quelques tentatives pour répartir a priori les fonctions intellectuelles entre la machine (ici les automates) et l'homme". (Montmollin 1986, p.40)

Montmollin continue sa vision des travaux d'analyse de l'interaction "homme-machine", en la transposant à un niveau d'abstraction encore plus élevé que celui des significations des messages visuels, niveau auquel s'organisent les significations accordées aux réponses de la machine en un système cohérent : "le niveau le plus abstrait, celui de la signification des informations, qui correspond, du côté de l'opérateur, aux activités de traitement de ces informations. [...] Ce traitement n'est en effet possible qu'en fonction de règles, officielles ou officieuses. Elles seules permettent à l'opérateur de comprendre le fonctionnement même de la machine, ses comportements [...] comportements qui constituent bien le niveau le plus abstrait dans la machine, car ils exigent de l'opérateur les représentations les plus formalisées". (Montmollin 1986, p.40)

Ce niveau le plus abstrait de l'interaction homme-machine est encore un sujet d'études et de recherches; en effet, les ergonomes et psychologues reconnaissent que "l'une des choses à propos de laquelle on a besoin d'en savoir beaucoup plus est la façon dont le modèle que se fait l'opérateur du système, se développe et change le long de son expérience. Puisque la connaissance du modèle est importante pour prédire la conduite de l'opérateur, supposé agir rationnellement en fonction de ce modèle, on aimerait connaître comment ce modèle s'élabore, et aussi comment on peut l'influencer" (Hollnagel, p.141).

La difficulté majeure dans les recherches ayant pour objet l'étude du modèle interne de fonctionnement, est qu'il n'est pas accessible directement, il doit être construit par le chercheur d'après des observables : les actions élémentaires du sujet, supposées coordonnées par une structure procédurale ou un algorithme de résolution. Notre recherche tentera d'accéder à ces structures, et de construire de tels modèles, d'après la conduite des élèves, leurs débats (ils travaillent par binômes), et à partir des opérations élémentaires qu'ils communiquent à la machine et leur coordination; Les caractéristiques ainsi exposées serviront de conditions de départ, que doivent vérifier les structures informationnelles à rechercher d'après ces observables : à une action donnée, la machine répond, les élèves appréhendent cette réponse directe à leur action, en fonction de la situation globale. Ils lui attribuent une signification, qui interfèrera ultérieurement avec les procédures qu'ils utilisent.

En somme, on assiste à des interactions fortement enchevêtrées dans les deux sens entre l'élève et le logiciel. Ces interactions renforceront la fonctionnalité de l'outil informatique dans la situation analysée, et lui donneront une dimension beaucoup plus importante que d'être seulement un outil graphique puissant, permettant de réaliser des dessins d'une manière rapide et graphiquement correcte. Il sera fonctionnel au niveau même de la résolution de problèmes.

Stewart (1981) a schématisé les échanges interactifs entre un sujet en situation de résolution de problème et l'environnement de la tâche. Il montre que le logiciel utilisé, et particulièrement sa représentation externe, occupe une place importante dans cet environnement.

En fait, Stewart part de la thèse de Newell & Simon que le processus de résolution de problème commence par la formation, chez le sujet, d'une représentation interne du problème. Dans le cas d'utilisation d'un outil ou d'un dispositif d'aide à la résolution, le sujet doit former ce qui peut être appelé "une représentation externe" du problème, exprimant ce dernier dans des termes appropriés aux outils dont il dispose. Son modèle avance l'hypothèse de l'existence de deux procédés pouvant être utilisés par un utilisateur "spécialiste" : le premier consistant à former ou transformer la représentation interne du problème, par un processus psychologique, et en fonction de connaissances antérieures ou de représentations initiales, de façon à y voir un problème semblable à d'autres ayant déjà été résolus; le deuxième consistant à former ou transformer la représentation interne du problème en fonction des possibilités offertes par le dispositif d'aide, à travers ses sorties visuelles. J.F. Richard (1983) va encore plus loin dans cette direction, et voit dans cette modification de la représentation de la tâche une nécessité à sa réalisation; pour lui, "dans le cas d'un dispositif, les contraintes sont représentées par les commandes, qui définissent les actions élémentaires possibles. Comme dans le cas des problèmes classiques, il faut modifier sa représentation du problème, définir de nouveaux buts et sous-buts". (Richard 1983)

Cette modification de la représentation du problème doit nécessairement intégrer la représentation fonctionnelle du logiciel au moment précis du processus de résolution, représentation qui a été construite le long de l'interaction passée avec le logiciel, et qui influencera l'interaction future, dans une dialectique permanente entre l'apprentissage du contenu mathématique impliqué, et celui des règles d'utilisation du logiciel.

Parlons, enfin, du logiciel, outil de cette partie de notre séquence : Mac Space. Né en mars 1985 et créé par Gérard Bomer, il est distribué par ASA. Ce logiciel est essentiellement un outil de conception de scènes tridimensionnelles. S'adressant aux architectes, aux décorateurs etc ... nous estimons que, lors de sa conception, l'enseignement des pratiques de représentations graphiques, ou de notions à propos de la géométrie tridimensionnelle, n'était pas dans la liste de ses objectifs, et que les élèves de collège ne faisaient pas partie de son public qui doit, en principe, maîtriser certaines des notions et connaissances que notre séquence vise à faire acquérir aux élèves. Dans les deux paragraphes suivants, figurent une analyse conceptuelle et une analyse du type d'interaction de ce logiciel.

II. Analyse conceptuelle de Mac Space

II.1. Préliminaire :

L'analyse suivante vise à étudier le logiciel utilisé, comme étant un micro-monde, au sens utilisé par Berdonneau comme désignant "à la fois un domaine de connaissance et un outil d'exploration de ce domaine" (Berdonneau 1985, p. 183); nous étudierons donc ce qu'il implique comme concepts, objets et relations entre ces objets, procédés et règles de fonctionnement relatifs à un ensemble de traitement de l'information; nous étudierons de même les manifestations de ces aspects à travers l'interface utilisateur / logiciel, qui traduit une interaction particulière utilisateur / concepteur. Situons cette analyse par rapport aux trois niveaux de présentation de l'interface que Barthet (1983) a vus du côté de la machine, et qu'il a définis comme suit :

- La représentation conceptuelle RC qui est la représentation abstraite de l'ensemble des fonctionnalités de l'application considérée
- La représentation interne RI qui est la représentation implémentée dans l'ordinateur, compte tenu des contraintes spécifiques du matériel et du logiciel de base
- La représentation externe RE qui est la représentation que voit l'utilisateur; elle aussi dépend des contraintes matérielles et logicielles des dispositifs d'entrée / sortie.

Bien que ces trois niveaux soient interdépendants, et que tout ce qui est défini au niveau conceptuel soit "traduit" en R.I. et R.E., notre analyse ne s'occupera que du premier (§ II) et du dernier (§ III); du premier car, d'une part, il est lié au champ conceptuel concerné et aux contenus mathématiques représentés par le logiciel et, d'autre part, toute utilisation adéquate du logiciel doit interagir, voire résulter, de la construction, par l'utilisateur, d'une représentation du fonctionnement du logiciel étroitement liée à cette représentation conceptuelle; quant au dernier niveau, c'est à travers lui que se fait l'interaction entre l'élève et la représentation conceptuelle, et que se construit et évolue la représentation que se fait l'élève du fonctionnement de la machine.

II.2. Relation entre une configuration spatiale et sa représentation :

Mac Space est un éditeur graphique conversationnel, destiné aux représentations graphiques d'objets à 3 dimensions à partir de trois vues en 2 dimensions. Le lien entre l'espace graphique de traitement (les trois fenêtres représentant les vues) et l'espace graphique de représentation en perspective n'est pas seulement figuratif, il est opératif : à tout moment du traitement, les modifications que subit une quelconque des trois projections de la configuration spatiale représentée se traduisent par les modifications correspondantes

sur les autres vues et sur le dessin en perspective, qui à leur tour traduisent les transformations spatiales ayant affecté l'objet représenté. Par opposition donc à une situation de dessin avec papier-crayon ou avec un logiciel de dessin figuratif, la caractéristique représentative du dessin et le lien opératif entre le dessin et la configuration représentée sont préservés.

Ceci est dû, effectivement, à la représentation conceptuelle particulière du logiciel, où l'espace est contrôlé par une géométrie particulière, qu'on pourrait appeler "géométrie des facettes" : une configuration spatiale n'est reconnue que par les faces qui la composent; ceci mène à une restriction du monde de configurations concevables avec Mac Space aux configurations composées par des surfaces planes; un sous-ensemble particulier de cette catégorie est celui des solides "vides", dont ne font partie que les faces qui les délimitent.

Dans l'espace graphique de Mac Space, tout traitement d'une représentation (ajout, annulation ou transformation) ne peut se faire que par facette; d'où l'impossibilité de tracer des segments ou des points isolés. La création d'un nouvel objet géométrique constituant de la configuration se fait :

- soit par l'utilisateur, dans l'une des trois fenêtres de traitement, et à l'aide de l'un des outils graphiques plans (rectangle, polygone), ce qui ne peut dessiner que des facettes fermées, obtenues par la validation d'un sous-ensemble suffisant de l'ensemble des sommets;

- soit par l'ordinateur, suite à l'application de l'une des fonctions de création globale (prisme, tétraèdre, génération automatique, etc...) ce qui crée, à partir d'une facette prise comme base, un solide délimité par une surface formée de plusieurs facettes.

Ne seront reconnus par le logiciel et donc mesurables ou transformables, que les objets validés par l'un ou l'autre de ces deux procédés. Expliquons-nous à l'aide d'un exemple : La représentation d'un pavé ayant été construite, on a créé le triangle ABC (fig.III.1), par revalidation, dans les fenêtres de traitement, des trois points représentant les trois sommets A, B et C du pavé. Ce triangle sera reconnu comme faisant partie de la configuration représentée, lors d'un traitement ultérieur quelconque; il n'en sera pas de même des triangles ABD, ABE ou BCE, etc... ils ne pourront être traités indépendamment des faces dont ils font partie.

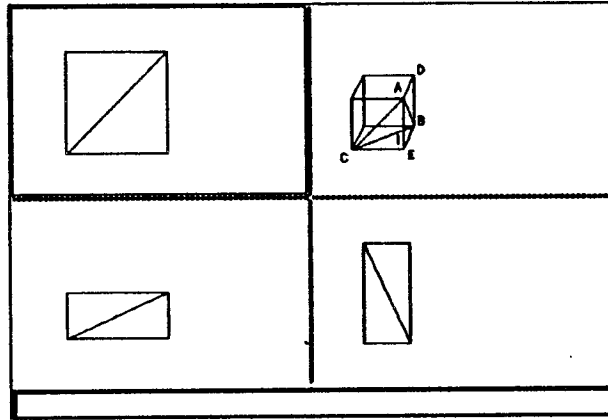


fig.III.1

Une telle contrainte peut être une garantie contre un traitement ou un raisonnement figuratif auquel pourraient inviter les illusions perceptives lors de la lecture d'une représentation plane d'objets tridimensionnels. Elle empêche, par exemple, toute tentative de sélection ou de traitement du "quadrilatère" ABEC, ou du "triangle" AIC (fig.III.1).

Cette contrainte conditionne, d'autre part, le rapport à construire entre une représentation graphique et la configuration spatiale qu'elle représente. Ce rapport qui, en général, se base sur des figures stéréotypées, des images culturalisées et des implicites dans l'interprétation et la construction mentale de parties absentes ou cachées, ne doit dépendre, dans le cas de Mac Space, que de la façon dont une configuration a été construite.

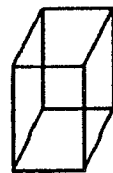


fig.III.2

La figure précédente (fig.III.2) donne un exemple d'un dessin qui serait interprété comme la représentation d'un pavé droit transparent, composé usuellement d'une base, d'un dessus, et d'une surface latérale. Or, ce même dessin a été obtenu dans la fenêtre 3D de Mac Space, comme représentant une configuration composée seulement de quatre faces : les surfaces latérales d'un pavé

Les figures (fig.III.3 ---> fig.III.6) montrent les étapes successives de la construction :

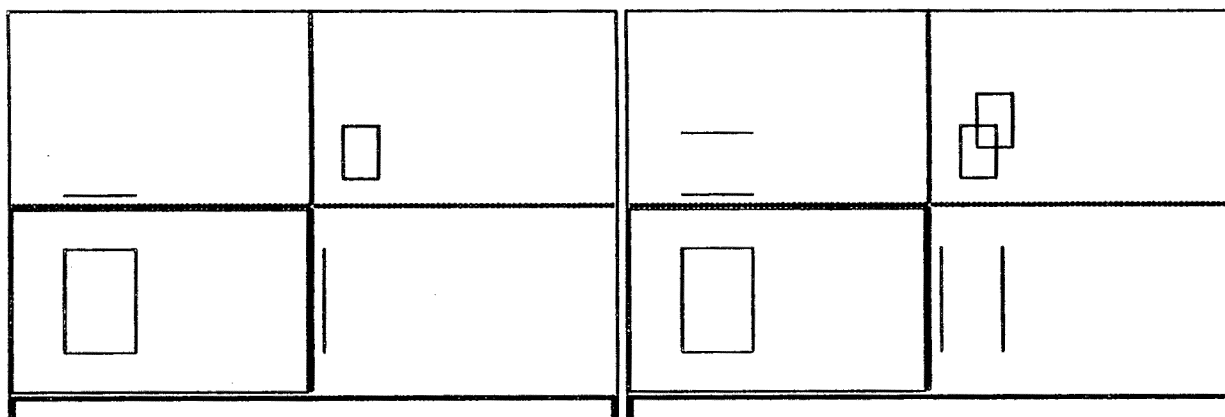


fig.III.3

fig.III.4

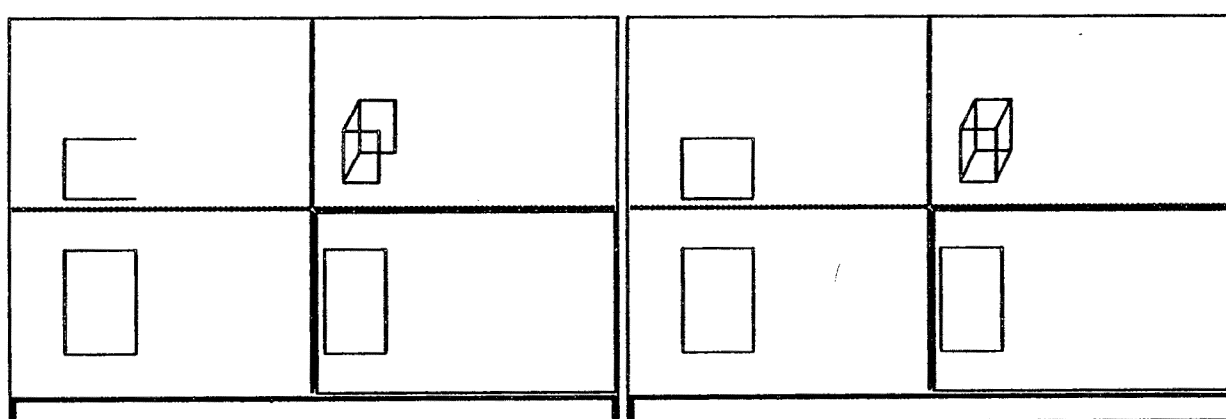


fig.III.5

fig.III.6

La base et le dessus n'existent pas bien que, figurativement, ils soient représentés par les surfaces limitées par les arêtes des surfaces construites. Dans tout traitement ultérieur, la représentation sera considérée selon sa construction effective, et les contraintes du logiciel en empêcheront toute autre lecture, ce qui pourra créer des conflits entre la tendance à des interprétations figuratives d'une part et l'opérativité du logiciel d'autre part.

Les figures suivantes (fig.III.7 ---> fig.III.10) montrent le cycle parcouru par la boucle de sélection d'une facette de la configuration; comme on le voit bien, ne sont sélectionnées que les faces qui ont été effectivement construites; Sans passer ni par la sélection de la base ni par la sélection du dessus, le cycle de sélection reprend à partir de la facette du côté gauche.

Notons que ce conflit ne peut être résolu par la lecture et la coordination des vues, comme le montre l'exemple précédent, où les vues peuvent être celles d'un pavé; ce n'est que par les possibilités de sélection permises, par le dynamisme de l'interaction et par les contraintes de fonctionnement qu'on en prend conscience.

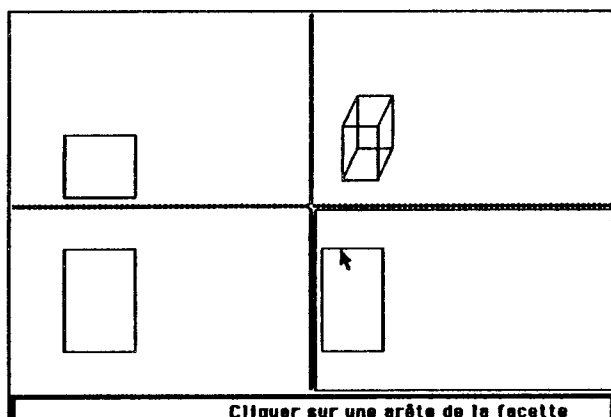


fig.III.7

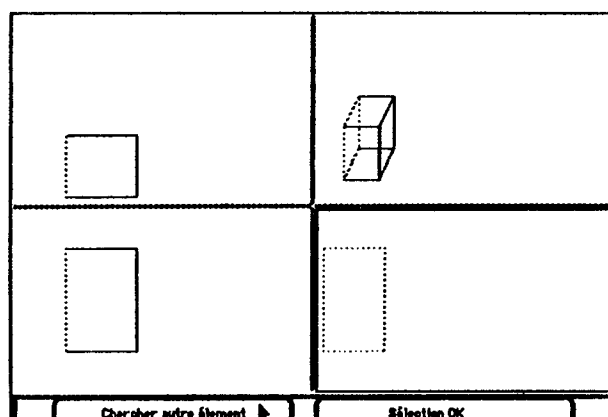


fig.III.8

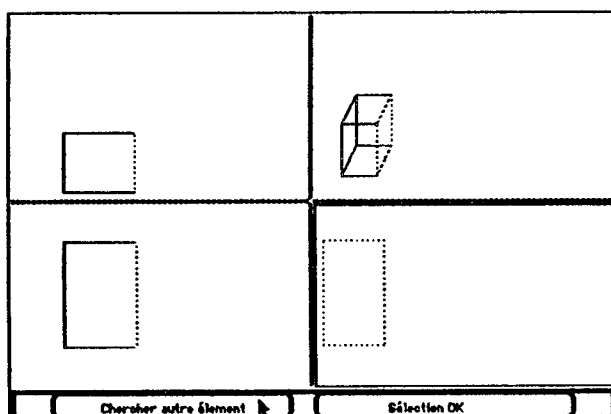


fig.III.9

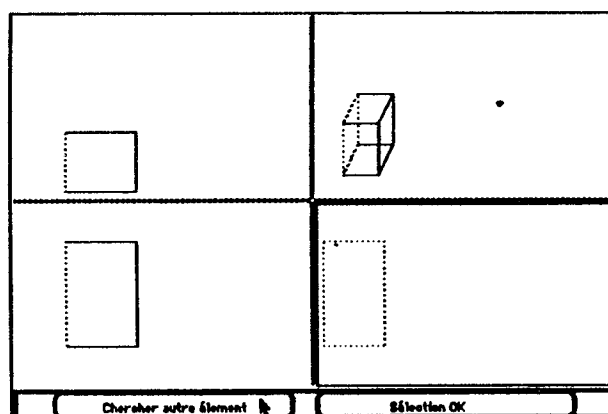


fig.III.10

D'autre part, les transformations disponibles dans Mac Space (translation, rotation, symétries horizontale et verticale) s'appliquent :

- soit à des facettes, désignées par l'utilisateur au cours d'une session de dialogue qui a lieu dès que l'icône représentant la transformation en question est sélectionnée,
- soit à des sommets ou des arêtes, entraînant des modifications des facettes qui en dépendent.

Il est impossible donc de transformer ou de dupliquer d'emblée la représentation d'un objet spatial; une telle application ne se fait que face par face.

Dans le cadre des contraintes de cette géométrie, on ne peut pas avoir accès à la fenêtre de la représentation en perspective de Mac Space; elle n'est qu'une fenêtre de contrôle perceptif de la construction progressive; donc, on ne peut pas faire de modifications directes sur le dessin considéré, comme dans le cas d'une situation de dessin avec papier-crayon.

II.3. Analyse du système de coordonnées sous-jacent :

L'espace de Mac Space est rapporté à un repère orthonormé implicite, formé de trois axes non matérialisés Ox, Oy, Oz, deux à deux perpendiculaires.

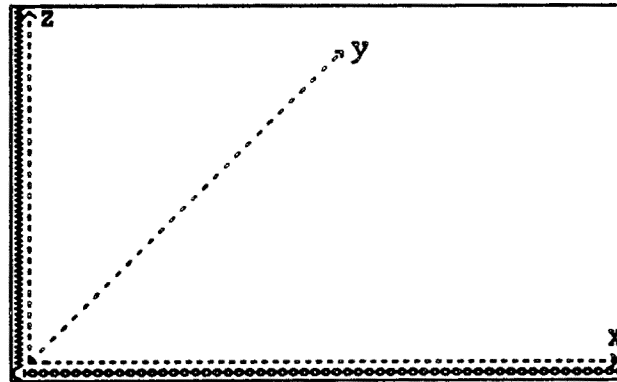


fig.III.11

La fig.III.11 présente une simulation, au sein de la fenêtre 3D d'une page de dessin, des directions et sens d'orientation des trois axes virtuels de ce repère.

Le système de coordonnées se manifeste dans l'interface par une fenêtre de communication (que nous appellerons désormais "fenêtre de communication principale" ou "la fenêtre de communication") où, lors de la sélection d'un outil graphique, s'affichent les coordonnées du point courant représenté par le curseur. Un point quelconque de l'espace est caractérisé, dans chacune des fenêtres, par :

- * les coordonnées de sa projection sur le plan du trièdre que représente cette fenêtre; désormais, nous appellerons ce plan "plan directeur de la fenêtre". Ainsi, par exemple, le plan (Ox,Oy) sera le plan directeur de la fenêtre de la vue de dessus.
- * par la "3^e coordonnée", selon la direction orthogonale à ce plan.

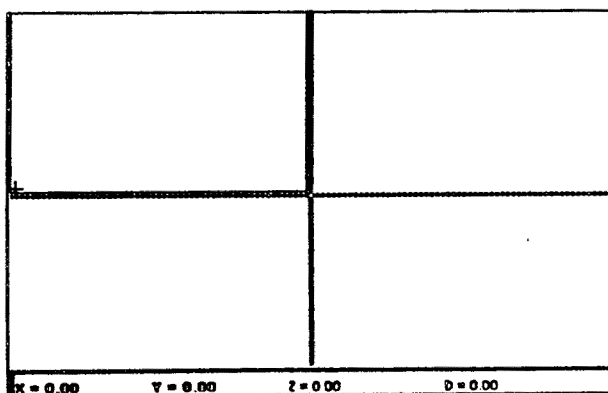


fig.III.12

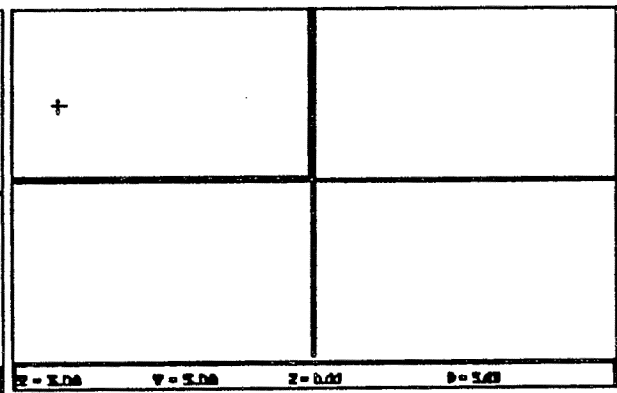


fig.III.13

Dans la fig.III.12, la position du curseur indique l'origine du plan horizontal : le coin de la fenêtre de la vue de dessus, où l'on voit la croix représentant le curseur. Dans la fenêtre de communication, on trouve : $x=0.00$, $y=0.00$ (car le point courant est l'origine), et $z=0.00$ (car la cote est par défaut nulle lorsque la fenêtre sélectionnée est celle de la vue de dessus).

La fig.III.13 montre les coordonnées du point représenté par le curseur qu'on a fait déplacer dans la fenêtre : $x=3.00$, $y=5.00$ et $z=0.00$. Un utilisateur non averti peut, à tort, expliquer " $z=0.00$ " par le fait que le point dans la fenêtre de la vue de dessus est la projection sur (Ox,Oy) d'un point de l'espace; une telle conception erronée de la représentation de l'espace sous-jacente à Mac Space peut même conduire à anticiper une valeur nulle pour l'ordonnée du point correspondant dans la fenêtre de la vue de face. En fait, il n'en est rien : les quatre points correspondant, dans les quatre fenêtres, à un point de l'espace sont identifiables à ce point, et possèdent le même triplet de coordonnées que ce point abstrait. De là, découlent des faits importants, caractérisant la représentation particulière de l'espace par Mac Space :

- L'accès particulier à l'espace que permet Mac Space s'oppose à une conception qui considérerait que les trois fenêtres nommées par le logiciel "vues" représentent des plans de projection, ce qui peut induire des conceptions et des stratégies erronées. Un obstacle important à dépasser lors de l'utilisation de ce logiciel découle de la différence fondamentale que sa logique présente avec celle du dessin technique, et qui est induite notamment par : le partage de la page-écran en quatre fenêtres, la disposition spatiale de ces fenêtres, et la nomenclature utilisée : vue de face, de côté, de dessus et vue en 3D... Alors qu'en dessin technique les trois vues sont des projections de l'objet sur trois plans, donc, des figures planes, la notion de "vue" reprend avec Mac Space son sens originel : c'est l'objet "vu" selon une direction précise.

- Les formes géométriques contenues dans les trois fenêtres de traitement représentent perceptivement les vues de l'objet (ses projections sur les trois plans du repère), mais pas opérativement. En mémoire, toutes ces formes sont identiques à l'objet représenté, et à leurs sommets correspondants sont affectés les mêmes triplets de coordonnées. Reconnaître l'identité entre 4 points se trouvant dans les quatre fenêtres, et les identifier à un point abstrait de l'espace est un processus cognitif qui sera à construire tout au long de l'utilisation du logiciel.

Pour mieux comprendre, prenons un exemple (fig.III.14) :

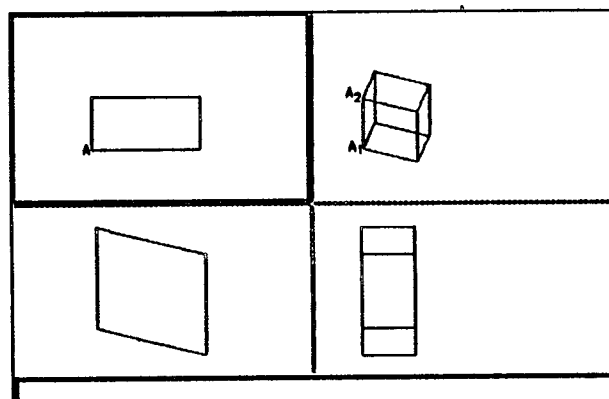


fig.III.14

Considérons le polyèdre représenté (fig.III.14). Comme le montrent ses vues, il ne repose pas sur un plan horizontal. Sa face est située dans un plan frontal, mais son plan de base est oblique, les sommets de sa base ne possèdent pas tous la même cote.

Dans la fenêtre de la vue de dessus, au point A se superposent deux points de l'espace, représentés par : A1 et A2, qu'on voit dans la fenêtre de la vue en 3D. Ces deux points, de coordonnées respectives (10.50;6.30;4.00) et (10.50;6.30;19.00) sont accessibles et reconnus par le logiciel comme étant représentés dans toutes les fenêtres : en particulier dans celle de dessus par le point A, tandis que le point (10.50;6.30;0), qui est la projection de ces deux points sur le plan (Ox,Oy) ne l'est pas.

- L'espace est donc représenté par Mac Space dans chacune des fenêtres, où il est considéré, dans chacune, comme un ajout d'une direction privilégiée, perpendiculaire à un plan privilégié. Il est non-isotrope, et isomorphe dans chacune de ces fenêtres à un produit non-associatif de trois espaces unidimensionnels :

- (Ox.Oy).Oz pour la fenêtre de la vue de dessus,
- Ox.(Oy.Oz) pour la fenêtre de la vue de côté,
- (Oz.Ox).Oy pour la fenêtre de la vue de face.

Selon ces conceptions, un point de l'espace sera défini, dans l'une des fenêtres, par ses trois coordonnées dont deux seront communiquées d'une façon dynamique, en déplaçant le curseur dans la fenêtre (fig.III.15), et la 3^e d'une façon statique, à l'aide de la commande "3^e coordonnée" du menu "curseur", ce qui correspond à une élévation du plan de traitement (fig.III.16).

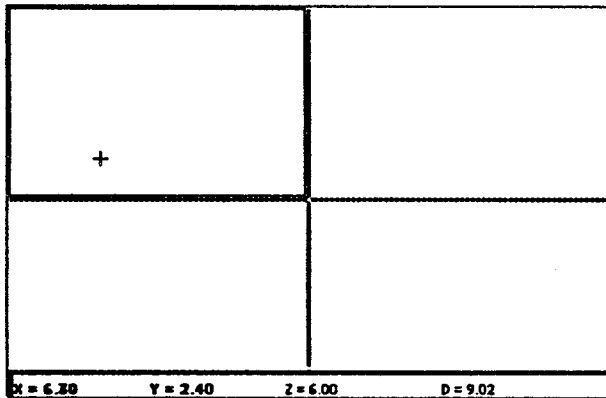


fig.III.15

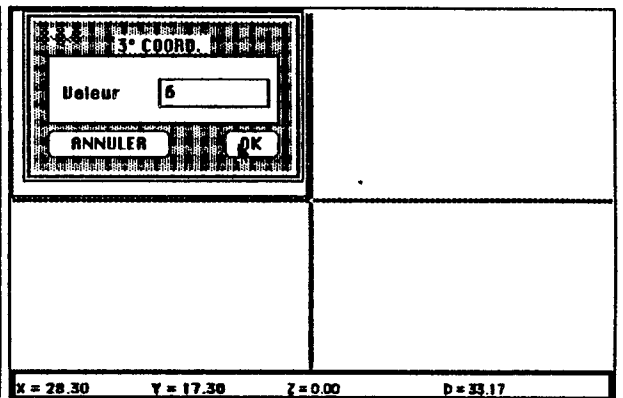


fig.III.16

Une fois saisie, la 3^o coordonnée par rapport à une fenêtre précise gardera sa valeur le long de l'application d'une fonction graphique, et ne sera pas affectée, comme les deux autres coordonnées, par le déplacement du curseur.

- à ces trois représentations, s'ajoute une quatrième, qui considère l'espace comme un produit associatif, mais non-commutatif, de 3 espaces unidimensionnels : $E = O_x.O_y.O_z$. Cette représentation se manifeste par la possibilité de définir analytiquement un point de l'espace (sommet d'une facette en cours de création), par la saisie de ses trois coordonnées absolues, ou relatives au dernier point validé (fig.III.17).

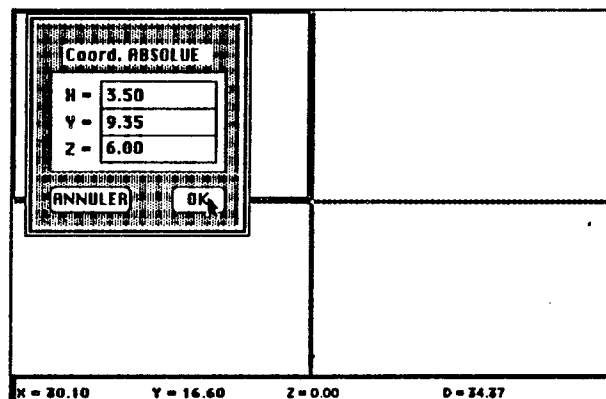


fig.III.17

II.4. Mac Space et le dessin technique : deux logiques différentes

Du point de vue du format et de l'affichage des informations à l'écran, Mac Space présente une spécificité qui le rapproche du cadre de référence du dessin technique. Nous étudierons, dans ce paragraphe, la différence entre les deux logiques car elle aura beaucoup d'impact sur l'attitude des élèves au cours de leur activité; en effet, le partage en quatre fenêtres de la page de dessin, renforcé par la page "standard" représentative de Mac Space, fera appel, dès les premiers contacts avec le logiciel, à un registre de connaissances dont les élèves concernés par l'expérimentation possèdent des notions élémentaires : le dessin technique.

Dans la version utilisée, adaptée aux normes internationales, les quarts d'écran affichent en haut à gauche la vue de dessus, en haut à droite la vue en trois dimensions. Les parties du bas représentent les vues en élévation de face et de côté.

Nous porterons un grand intérêt à l'analyse des conduites des élèves face à des réponses de la machine, manifestant une incompatibilité fondamentale entre deux situations :

1- la situation de communication spécifique au dessin technique (Deforge 1981), situation mettant en jeu un concepteur et un réalisateur, et qui comprend deux moments distincts :

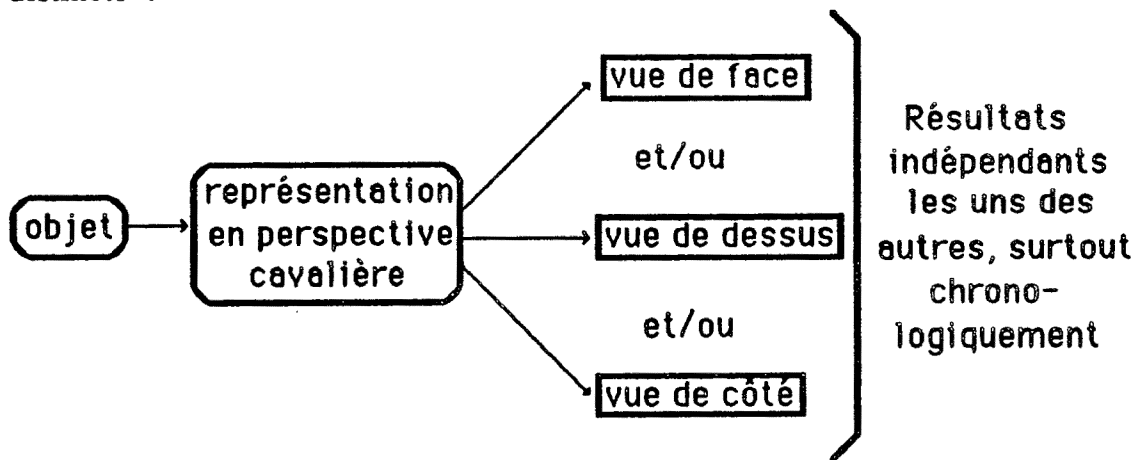


schéma III.1

a) la représentation, par le concepteur, d'un objet par ses trois vues : vue de face, vue de côté et vue de dessus; dans l'enseignement que les élèves ont reçu dans le cadre de l'atelier de dessin technique, ce moment est représenté par un exercice, dont la donnée (entrée) est l'objet à représenter, ou une représentation de cet objet souvent par sa perspective cavalière; le résultat demandé (sortie) en est les trois vues qui, malgré l'existence de techniques spéciales de construction qui les relient entre elles, peuvent être déductibles indépendamment les unes des autres (schéma III.1).

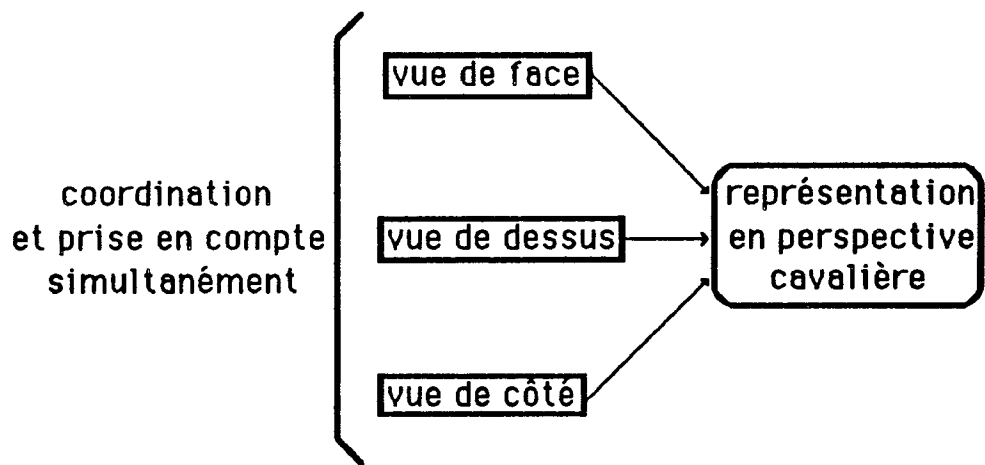


schéma III.2

b) la construction, par le réalisateur, à travers un processus de coordination entre trois points de vue, que représentent les trois vues, d'une représentation de l'objet conçu; dans l'enseignement que les élèves ont reçu dans le cadre de l'atelier de dessin technique, ce moment est représenté par un exercice, dont les données (entrées) sont les trois vues (ou seulement deux), et dont le résultat demandé (sortie) est la représentation graphique en perspective cavalière de l'objet qu'elle représente. La coordination des points de vue exige la prise en compte, à tout moment de la résolution d'un tel exercice, des trois vues (schéma III.2).

2- la situation d'interaction avec le logiciel Mac Space, où ces deux moments distincts de la communication se fondent en un seul, où la conception par l'élève et la réalisation par la machine s'effectuent de manière conversationnelle, à tout instant de l'interaction entre les deux protagonistes, interaction liée à la représentation conceptuelle de l'espace, offerte par le logiciel.

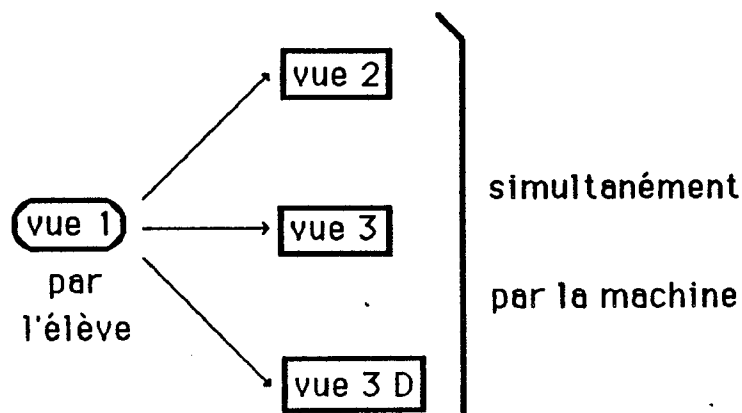


schéma III.3

Le rôle du concepteur (l'élève) n'est plus de fournir trois vues de l'objet à dessiner, mais d'effectuer une décomposition de l'objet en question en classes de facettes, selon leur direction, et de fournir au logiciel, comme entrées, les représentations de ces facettes, proprement situées dans l'espace de Mac Space, et chacune à travers une, proprement choisie, des trois fenêtres de traitement représentant (perceptivement) les trois vues de l'objet (schéma III.3). La tâche de l'élève ne consiste plus, donc, à dessiner, d'emblée, chacune des trois vues, mais à situer dans l'espace de Mac Space, à travers chacune des fenêtres-vues, une partie des constituants de l'objet à représenter.

Quant au rôle du réalisateur (la machine), il ne consiste plus en une coordination de trois vues données séparément, mais à la construction progressive et instantanée, suite à la représentation d'un composant dans l'une des fenêtres, de ses vues correspondantes dans les deux autres fenêtres de traitement, et de sa représentation en perspective dans la fenêtre de contrôle (fenêtre 3 D).

III. Type d'interaction avec Mac Space

III.1. Introduction :

Rappelons, avant de décrire et structurer les éléments de l'interface de Mac Space, définie par sa représentation externe, que cette dernière ne peut être dissociée du contenu conceptuel représenté par ce logiciel, et dont nous avons présenté une analyse au § II.

D'un autre point de vue, et quoiqu'elle s'intéresse aux caractéristiques inhérentes de l'interface, cette description ne peut qu'intégrer l'élève, utilisateur occasionnel dans notre séquence, et le considérer comme présent tout au long de la description. En effet, notre étude relève de ce qu'il est convenu d'appeler "l'ergonomie de la communication", notion légèrement différente de celles généralement utilisées telles que "ergonomie du logiciel" ou "ergonomie cognitive" trop restrictives, la première ne tenant compte que du matériel, la seconde de la subjectivité de l'utilisateur alors que l'une comme l'autre jouent un rôle non négligeable.

Cette intégration, dans l'analyse, des deux composants du système, ne pourra se réduire à une simple juxtaposition, car d'après Hollnagel : "comme l'étude des systèmes 'Homme-Machine' concerne la fonction conjointe des hommes et des machines, il est clair que le but doit être une description globale du système, plutôt qu'une description de ses composants. Mais, puisque le système 'Homme-Machine' peut facilement être vu conceptuellement comme ayant deux composants, les différentes approches ont préféré commencer par la description de l'un d'eux." (Hollnagel 1983, p.137).

Nous considérons ce fait comme étant très important du point de vue didactique, dans la mesure où, regardée sous cette optique, l'interaction machine / utilisateur révélera une interaction concepteur / élève. Le premier composant est présent par les objets de connaissances, les relations entre ces objets, de même que par les représentations symboliques de ces objets et relations, que le constructeur a intégrés dans le logiciel ; le deuxième est présent par ses connaissances initiales relevant du champ conceptuel concerné, par les représentations qu'il a, au départ, de la tâche à réaliser, des possibilités et du mode de fonctionnement du logiciel, comme par le rapport qu'il entreprend avec son milieu, l'atelier d'informatique, dont la machine fait partie.

Notons que, dans notre description de l'interface de Mac Space, nous nous limitons aux aspects que nous estimons influents dans l'activité précise des élèves dans cette recherche, sous-domaine de ce micromonde, dont nous avons repéré les frontières en fonction de l'analyse a priori des stratégies possibles de résolution, et de nos hypothèses sur les cheminements possibles d'essais que les élèves peuvent tenter, à l'intérieur de l'arborescence des séquences de traitement possibles, ouvertes par le logiciel. En effet, notre but dans cette partie est loin d'être de donner un manuel d'utilisation de logiciel, ni une description complète des échanges possibles, mais de "reculer" par rapport au point de vue du concepteur, pour aboutir à une analyse structurée des impacts de cet échange sur les élèves.

Quant au plan et au contenu de notre description, ils s'appuieront sur la caractérisation que donne Schackel de l'interface de logiciel (software interface) qu'il oppose à celle du matériel (hardware interface) : "elle comprend la partie de l'intermédiaire de la communication homme-ordinateur, qui ne relève pas du matériel (hardware), qui est souvent plus transitoire, et généralement variable en fonction du programme de contrôle; par exemple, la structure logique du contenu et des procédures, et le format, la présentation, la verbosité, etc... des séquences de messages homme-machine" (Schackel B., 1980, p.861)

III.2. Paramètres de l'interface de Mac Space:

Nous pourrions classer les paramètres de l'interface de Mac Space en deux classes à deux niveaux d'abstraction différents, le premier concernant les intermédiaires de l'interaction, le deuxième la structure logique régissant le système de fonctionnalités.

III.2.1. Dispositifs et représentation des entrées :

Deux dispositifs d'entrée sont possibles avec le logiciel utilisé : la souris et le clavier (fig.III.18).

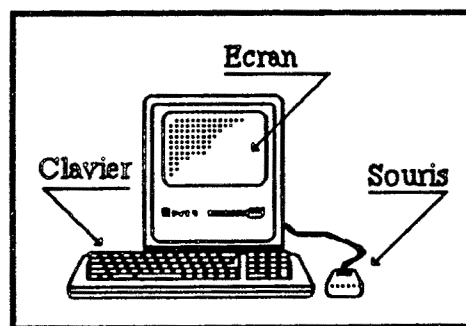


fig.III.18

a) A l'aide de la souris : l'élève pourra communiquer à la machine deux catégories d'entrées, que nous considérerons distinctes :

i) la sélection de commandes dans des menus, d'outils graphiques, de réponses à choix multiples qui seront proposés par le logiciel lors d'une séquence de dialogue, etc...

ii) la validation de points d'un des espaces graphiques de l'aire de travail lors de la création d'objets géométriques, ou la sélection d'objets géométriques particuliers d'une configuration déjà construite (sommet, arête, facette) au cours de l'application de transformations géométriques.

b) A l'aide du clavier : A part la communication possible de commandes en raccourci, que nous négligerons car elle n'a jamais été évoquée ou utilisée dans notre séquence, le clavier sert à communiquer des entrées alphanumériques et numériques. Tandis que les premières servent à donner des noms aux documents stockés, les deuxièmes sont d'une importance capitale :

* d'une part, car elles sont liées à la représentation conceptuelle du logiciel et au système de mesure qui le gère,

* d'autre part, car la nécessité de communiquer des données numériques ne s'est jamais encore présentée aux élèves. Par conséquent, le clavier n'a été utilisé, avec Mac Paint, que pour nommer des documents, ou taper du texte dans la page de dessin. Au cours de l'activité des élèves, nous avons noté une hésitation (cf. chap.V, § III.2.2. (c & d)) avant l'utilisation de ce dispositif d'entrée, ce qui a influé sur l'appréhension par les élèves de quelques procédures de création.

Ces entrées numériques peuvent être classées en deux catégories :

i) - réponses à des requêtes d'informations numériques dans des séquences de dialogue modal (contraint par la machine) de la part de la machine, au cours d'une séquence de dialogue : la communication de telles données (ou d'une réponse alternative de la part de l'élève, comme "OK" ou "annuler", par exemple) est indispensable à la continuation d'une séquence de construction déjà engagée ... ne serait-ce, surtout au début de l'interaction, que pour débloquer l'état d'attente du système. Comme exemple de ces requêtes, on prendra : la "Hauteur" (fig.III.19), dans une séquence de construction d'une surface prismatique ou pyramidale, suite à la sélection de l'icône "prisme" ou "pyramide"

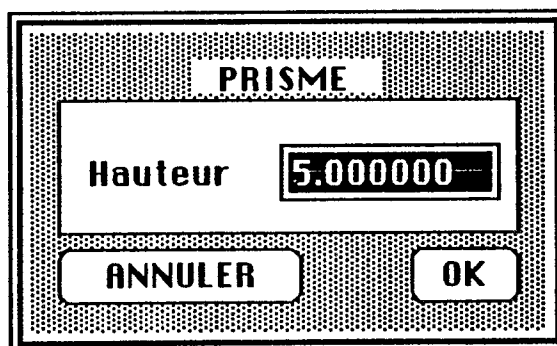


fig.III.19

ii) - réponses à des requêtes d'informations numériques déclenchées à l'initiative des élèves, suite à la sélection de commandes particulières, dans un but précis, ou dans un essai. Des exemples de ces commandes : 3^o coordonnée (fig.III.20), (commande ayant pour but la définition d'un niveau de traitement dans une des trois directions planes principales de l'espace),

A dialog box with a title bar that reads "3° COORD.". Inside the box, there is a label "Valeur" followed by a text input field containing the number "0.000000". Below the input field, there are two buttons: "ANNULER" on the left and "OK" on the right.

fig.III.20

"coordonnées absolues" et "coordonnées relatives" (options précisant le choix par l'élève d'un mode de validation d'un point, autrement que par sélection) (fig.III.21).

A dialog box with a title bar that reads "Coord. RELATIVE". Inside the box, there are three rows of input fields. The first row is labeled "X =" and contains the value "0". The second row is labeled "Y =" and contains the value "0". The third row is labeled "Z =" and contains the value "0". Below these input fields, there are two buttons: "ANNULER" on the left and "OK" on the right.

fig.III.21

Une fois ces fenêtres de requête d'informations affichées (que ce soit du premier type ou du deuxième), le système sera en état d'attente d'une réaction de l'utilisateur. Nous nous intéresserons à la signification que les élèves accorderont à ces requêtes et au sens des informations requises, par rapport à la configuration spatiale en cours de construction; en effet, ce sens accordé, et manifesté probablement par la conduite des élèves face à ces requêtes et par les valeurs numériques qu'ils donnent en réponse, sera révélateur du modèle qu'ils se font de la représentation conceptuelle du logiciel, d'une conception particulière de l'objet géométrique en cours de construction et des éléments nécessaires et suffisants à sa définition, à travers ce partage de tâches entre l'utilisateur et l'ordinateur.

Dans une étape suivante, nous partirons de l'hypothèse que, d'après des activités précédentes, les élèves auront construit un sens aux requêtes d'informations numériques, par rapport aux objets construits et aux caractéristiques du problème posé. Nous nous intéresserons alors à la deuxième catégorie de données, et au comportement des élèves, dans la recherche de moyens (commandes particulières) pour communiquer à la machine des données numériques particulières du problème.

III.2.2. Dispositifs de sortie :

Au cours de notre séquence, l'écran a été le seul dispositif de sortie et d'affichage des informations. Ces informations peuvent être classées dans plusieurs catégories, définies par l'interaction même entre l'élève et le logiciel, et par le partage de tâches, imposé par le mode de pilotage de Mac Space :

- a) informations graphiques
- b) informations numériques
- c) informations d'état
- d) requêtes d'informations
- e) messages d'erreur (déclaratifs ou directifs)

a) informations graphiques :

Réponse de la machine à des manipulations par l'élève des outils graphiques disponibles, représentés par les icônes de création et de transformation. Ces dessins sont affichés dans les quatre fenêtres de la page-écran de Mac Space, dont trois représentent les trois "vues", et la quatrième représente l'espace graphique, représentant l'espace tridimensionnel. Dans les trois premières fenêtres s'affichent progressivement les trois vues de la configuration spatiale en cours de représentation, dans la quatrième, sa perspective cavalière suit.

La fig.III.22 représente la "page standard" de Mac Space, qui s'affiche dès le début d'une séquence de travail avec le logiciel. Elle offre des informations sur la disposition des informations au sein d'une page de dessin.

Ce qui nous intéressera particulièrement, par rapport à cette présentation multi-fenêtre, c'est le sens que les élèves accorderont à ces informations aux premières étapes de construction avec le logiciel, puis l'évolution de leur représentation du fonctionnement du système, et des relations entre ces différentes représentations graphiques. Encore plus, nous nous intéresserons à la conception initiale, et à l'évolution le long de la séquence de travail, du rapport que les élèves se construiront entre les informations affichées à l'écran, et les informations correspondantes gérées en mémoire. Rappelons (cf. § II), par exemple, que : bien que les dessins affichés dans les trois fenêtres de traitement représentent perceptivement les trois vues de la configuration spatiale, leurs points signifiants (sous-ensemble de leurs sommets) sont gérés en mémoire par les triplets de coordonnées spatiales des points de l'espace dont ils sont respectivement les projections.

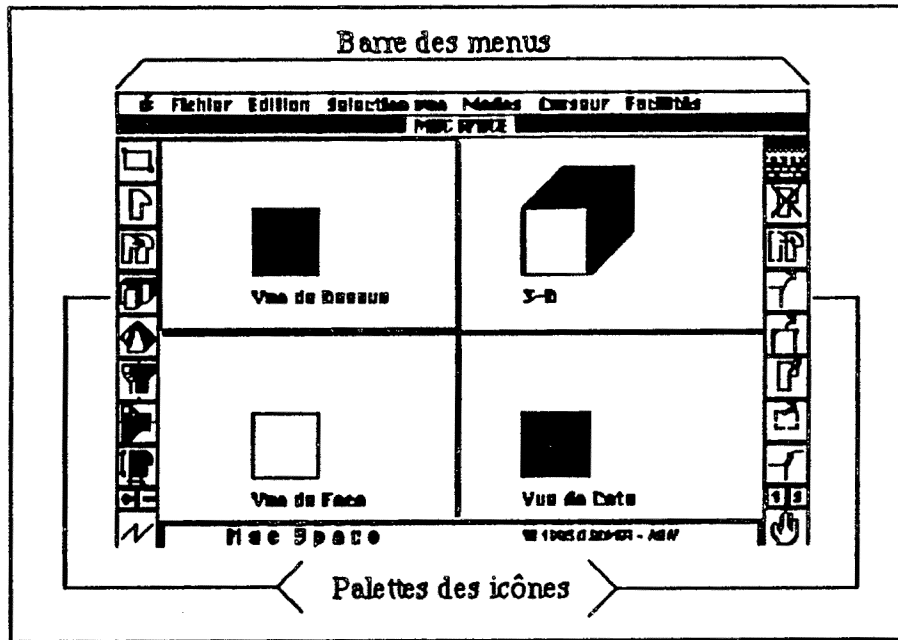


fig.III.22

D'un autre point de vue, nous nous intéresserons au comportement des élèves face à une caractéristique particulière de ce codage visuel de l'information sur les quatre fenêtres : en fait, chacune des fenêtres est un représentant d'un espace graphique; elles représentent l'espace tridimensionnel, "vu" sous quatre directions d'observation différentes. Les fenêtres affichent une portion de chacun de ces espaces graphiques dont chacun s'étend, théoriquement, au-delà des frontières de la fenêtre où il s'affiche. L'utilisateur a la possibilité, en déplaçant le cadre rectangulaire délimitant une fenêtre sélectionnée, de modifier son champ de vision, en sélectionnant une autre portion à percevoir de l'espace graphique correspondant.

b) informations numériques :

par exemple, des cotations données à la sélection de l'icône n°8 (fig.III.23) :

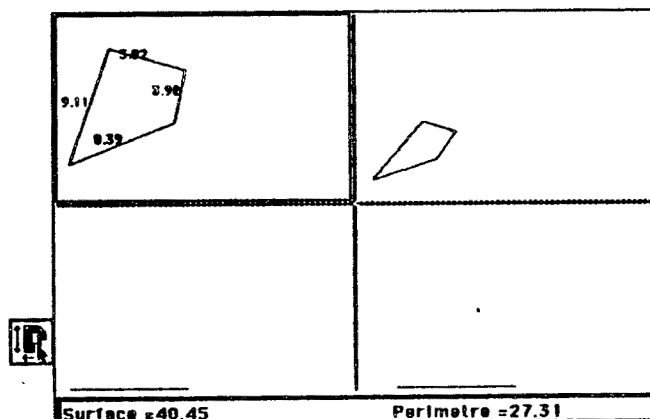


fig.III.23

Une autre catégorie d'informations numériques faisant partie des sorties du logiciel nous intéressera particulièrement : les coordonnées du point de l'espace représenté par la position courante du curseur. Ces informations s'afficheront dans la fenêtre de communication principale dès la sélection d'un outil graphique (de création ou de transformation), et seront dynamiquement modifiées par le logiciel, tout le long du déplacement du curseur (fig.III.24).

X = 16.80	Y = 3.90	Z = 5.00	D = 17.96
------------------	-----------------	-----------------	------------------

fig.III.24

Les valeurs de x, y et z sont les coordonnées du point courant par rapport au dernier point validé au sein de la procédure active, D est la distance entre le point courant et le dernier point validé.

Notre recherche s'intéressera au sens que les élèves accorderont au rôle de cette fenêtre et aux informations numériques qu'elle présente. En effet, elle aura une importance capitale dans la détection, par les élèves, de la structure analytique et du système de coordonnées gérant l'espace du logiciel.

c) informations d'état :

Ce sont des informations que donne la machine à propos de paramètres particuliers du système. Entre autres,

- le mode de transformation gérant les outils graphiques à un moment donné, qui est exprimé par une des représentations symboliques offertes par un indicateur (fig.III.25), situé en bas de la colonne de droite d'icônes :

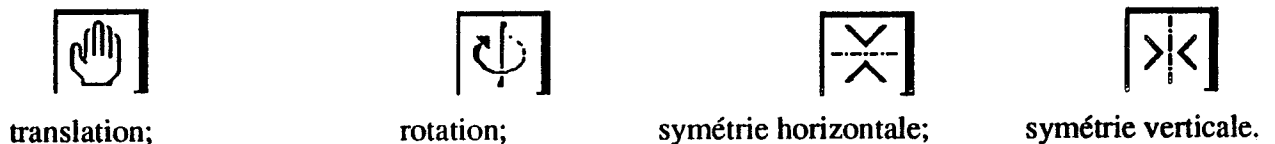


fig.III.25

Cette même information peut être donnée par l'option cochée du menu "Modes".

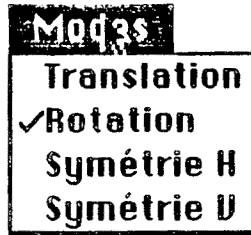


fig.III.26

- l'état du curseur à un moment donné, exprimé par une des représentations symboliques offertes par un indicateur (fig.III.27), situé en bas de la colonne de gauche d'icônes :



libre;



orthonormé;



grille.

fig.III.27

Cette même information peut être donnée par l'option cochée du menu "Curseur".



fig.III.28

d) Requêtes d'informations :

Ce sont des sorties qui provoquent l'interruption d'une séquence de création ou de transformation d'objets géométriques, en attente de données de la part de l'utilisateur, indispensables au déroulement de l'opération en cours. Ces requêtes d'informations peuvent être :

- explicites, se manifestant par l'interruption de l'opération en cours et l'affichage d'une demande explicite d'information ou d'action de la part de l'utilisateur. Exemple (fig.III.29) :

Cliquer sur une arête de la facette

fig.III.29

- implicites, se manifestent par l'interruption de l'opération en cours et : soit l'affichage d'une fenêtre d'entrée d'informations, portant un mot désignant l'information requise (fig.III.30),

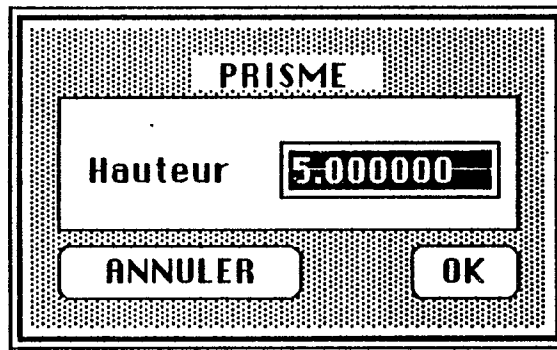


fig.III.30

soit l'affichage d'un dessin (fig.III.31) ou d'un mot (fig.III.32) qui désigne cette information et qui est mobile avec le curseur, dans le cas où l'information doit être communiquée par la validation d'une position à l'écran, en sélectionnant une position particulière du curseur.

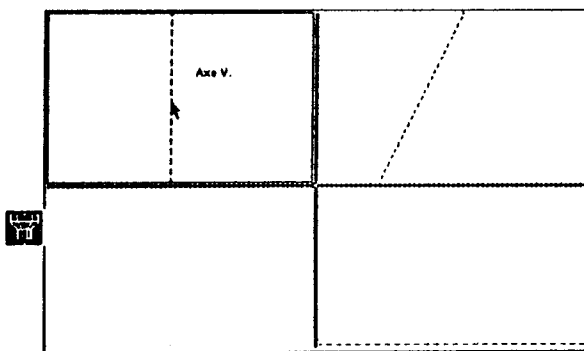


fig.III.31

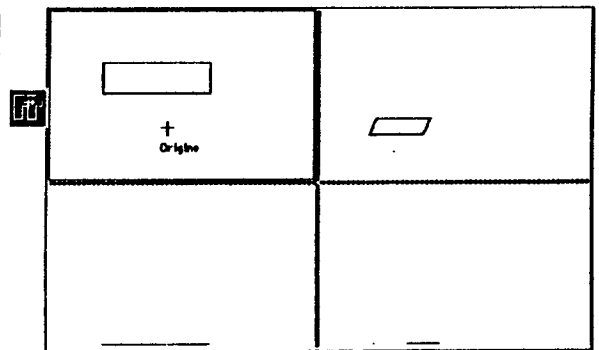


fig.III.32

A part l'importance déjà soulignée de ces requêtes d'informations en général, le degré d'explicitation et de caractérisation par la machine des informations demandées sera important dans l'analyse de l'interaction élève / logiciel, du comportement de l'élève face à cette requête, surtout les premières fois qu'il la rencontre, ceci, pour plusieurs raisons, et selon les cas :

1° cas : la sélection de la commande ou de l'outil graphique est intentionnelle, dans un but déterminé :

Dans ce cas, l'élève connaît (ou devine) la fonction mais non le mode de fonctionnement de la procédure de création ou de l'application de transformation.

La requête d'information, avec son intitulé ou les mots qui y sont utilisés, aura un effet sur la prise de conscience, chez l'élève, des paramètres indispensables à la définition de l'objet géométrique ou de la transformation. En effet, dans certains cas, on remarque chez les élèves l'existence d'implicites concernant ces données, implicites qu'on peut interpréter soit par un anthropomorphisme supposant que la machine arrivera à la construction sans ces données, soit à une conception des objets qui ne considère pas ces données nécessaires à la construction. De ce point de vue, les requêtes d'informations explicitées par la machine influenceront sur les implicites dans la communication élève —> ordinateur.

D'autre part, les requêtes d'information de la part de la machine auront un rôle important dans la représentation que se construit progressivement l'élève du partage des tâches entre lui et l'ordinateur, dans la réalisation de la construction en cours ; elles définiront, pour lui, la nature et la structure des données qu'il doit communiquer à la machine pour lui permettre de réaliser sa part de la tâche, comme les moments précis auxquels des catégories particulières de ces données doivent être communiquées. Enfin l'interprétation que fait l'élève de la requête et la complétion qu'il fait des parties non-explicites (et elles existent toujours), révèle le sens qu'il accorde à l'information demandée, par rapport à la procédure en cours. Exemples :

Cliquer sur une arête de la facette

fig.III.33

peut vouloir dire :

" cliquer sur une arête de la facette que vous voulez transformer"

ou "cliquer sur une arête de la facette, base de la surface prismatique à construire"

ou encore

" cliquer sur une arête de la facette dont vous voulez connaître les dimensions"

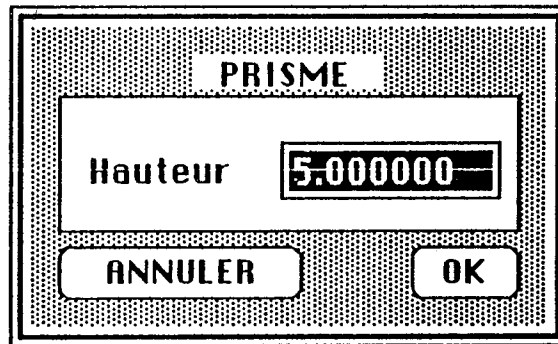


fig.III.34

veut dire :

"saisir au clavier la mesure de hauteur de la surface prismatique à construire",
etc ...

2° cas : La sélection de la commande ou de l'outil graphique n'est pas intentionnelle par rapport à sa propre fonction (essai, ou erreur de sélection) :

Dans ce cas, la requête aura un effet important dans l'évolution de l'interprétation que peut faire l'élève de la fonction de l'outil graphique ou de la commande qu'il vient de sélectionner. Plus la requête est explicite, et son langage lié aux caractéristiques géométriques de la procédure en cours, plus son rôle de guide sera important suite à son interaction avec les conceptions initiales des élèves à propos du sous-domaine conceptuel concerné. Ce rôle de catalyseur dans l'interprétation du rôle d'une application et dans l'évolution de la représentation de son mode de fonctionnement peut s'étendre à un moment ultérieur de l'interaction : dans le cas où l'élève communique des données en réponse à la requête ou sélectionne l'option "OK" pour garder, consciemment ou inconsciemment, la valeur des paramètres par défaut (fig.III.34), la machine répondra en donnant un résultat graphique de l'application en cours. Cette réponse de la machine peut provoquer chez l'élève un retour en arrière, essayant de construire un rapport entre le résultat de la création ou de la transformation, la donnée qui était affichée ou qui a été communiquée, et la représentation iconographique de l'application courante ou l'intitulé signifiant la commande courante.

e) messages d'erreur (déclaratifs ou directifs) :

Ils ont lieu au cours d'une séquence d'échanges entre l'élève et l'ordinateur, lorsque :

- la donnée communiquée par l'élève ne correspond pas aux réponses possibles pour la machine. Exemples :

* un clic lors de la saisie d'une lettre, alors que l'information à communiquer doit être numérique.

* le message déclaratif "il n'y a pas d'éléments dans la zone", dans le cas de la sélection d'un objet de l'espace graphique, qui n'a pas été validé antérieurement et, par conséquent n'existe pas dans la mémoire parmi les réponses possibles à la requête courante.

- l'état courant du système ne permet pas l'action courante de l'élève. Exemple : le message directif : "il faut créer une facette", lors de la sélection, avant la création d'au moins une facette d'un des outils de construction de volume, de cotation ou de transformation.

III.2.3. Mode opératoire ou séquençement des opérations :

"il définit l'enchaînement des opérations tel qu'il est autorisé par l'ordinateur" (Barthet, 1983).

Le fonctionnement de Mac Space suit une logique fonctionnelle : l'élève doit commencer par sélectionner la fonction graphique, qu'il estime adaptée à sa stratégie de résolution du problème posé, puis communiquer à la machine, selon un séquençement souvent guidé par les requêtes de cette dernière, les paramètres et les éléments sur lesquels il veut l'appliquer.

Dans ce paragraphe, nous analyserons la structure logique du réseau de relations existant entre : fonctions, paramètres et éléments correspondant au secteur du logiciel qui nous intéresse, puis nous donnerons des exemples de séquences de dialogue particulières, qui apparaîtront fréquemment dans l'activité des élèves. Nous ne prendrons pas en compte les commandes correspondant au stockage et à la gestion des documents. Notons seulement que les élèves dans cette étape ont une certaine maîtrise de l'utilisation de ces commandes d'après leur travail avec Mac Paint. Nous ne prendrons en compte, parmi les autres commandes et fonctions, que celles qui ont directement des liens avec les stratégies de résolution des problèmes posés, et celles dont nous pensons que les élèves les aborderont au cours d'essais, à cause de leur représentation (iconique ou lexicale) qui évoque de tels liens.

D'une manière générale, les deux palettes d'icônes (fig.III.35) représentent des fonctions graphiques, des fonctions de création ou de transformation d'objets géométriques;

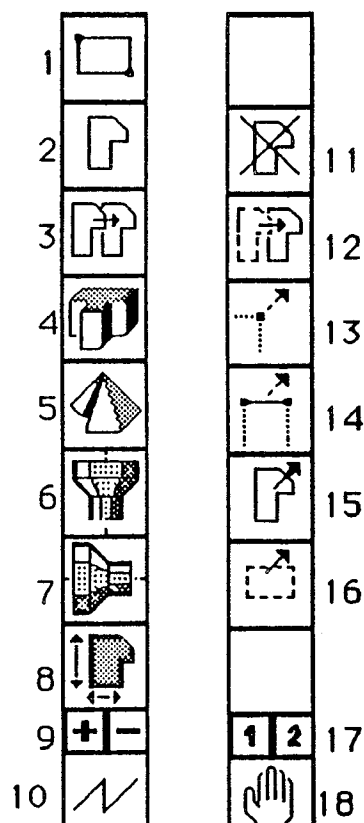


fig.III.35

des paramètres spécifiques de ces fonctions peuvent être définis à l'aide de quelques-unes des commandes, structurées dans des menus déroulants (fig.III.36)

🍏 Fichier Edition Selection vue Modes Curseur Facilités

fig.III.36

Un des problèmes qui peut apparaître au cours de l'interaction avec le logiciel peut résulter du fait que ces deux classes de représentations (icônes représentant des fonctions graphiques et items de menus représentant des commandes) ont une disposition spatiale dans la page écran qui laisse supposer que les éléments de chacune se situent au même niveau dans la structure logique régissant le système, et qu'entre eux existent des relations analogues. En fait, il n'en est pas ainsi : les fonctions et commandes sont régies par une structure hiérarchique et obéissent, entre elles, à des relations asymétriques :

a) Fonctions représentées par les icônes

Par analogie avec le type d'interaction sous-jacent à l'interface de Mac Paint déjà utilisé, les élèves attribueront à ces icônes la fonction d'outils graphiques, sans grande

distinction en ce qui concerne leur niveau d'utilisation (sauf peut-être pour la main (n°18), le rectangle pointillé (n°16) ...). En fait, les distinctions entre les fonctions représentées par les icônes de Mac Space sont plus complexes, de même que les différentes séquences de dialogue déclenchées par ces fonctions, et le partage des tâches qu'elles imposent. Essayons de les classer selon leurs finalités :

*** Types de fonctions représentées par des icônes**

(les numéros utilisés sont ceux des icônes de la fig.III.35)

i) Fonctions de création graphique, servant à créer de nouveaux objets, par la donnée de certaines de leurs caractéristiques déterminantes : 1, 2, 4, 5, 6, 7.

Ces fonctions peuvent être catégorisées en deux classes :

- création d'objets géométriques plans : 1, 2
- création d'objets géométriques volumineux : 4, 5, 6, 7.

ii) Transformations, servant à créer l'image, par une des quatre transformations disponibles par le logiciel, d'un (ou plusieurs) objet(s) géométrique(s) (à deux dimensions au plus), déjà existant(s) : 3, 12, 13, 14, 15, 16

iii) Fonction de suppression d'une facette : 11

iv) Fonctions de dimensionnement et de visualisation : affichant des informations basées sur des calculs effectués sur des données déjà stockées

8 qui permet la cotation d'une facette

9 qui permet l'agrandissement ou la réduction du dessin

et 17 qui permet la visualisation d'écrans enregistrés, représentant différentes vues en perspective de l'objet représenté.

v) Indicateurs d'état : 10, 18; Ces deux icônes ont, par rapport aux autres, un statut particulier, car elles ne représentent pas des fonctions; l'utilisateur ne peut pas les sélectionner, et le fait de les cliquer ne provoque aucun effet; leur forme change selon l'état qu'elles indiquent : la première révélant l'état du curseur, la deuxième la transformation en vigueur, qui sera activée par la sélection d'une des icônes activant une transformation. Quant au niveau actif, la sélection de l'un ou de l'autre des deux états se fait par la sélection d'un item dans un menu ("Curseur" pour 10 et "Modes" pour 18), qui sera coché jusqu'à sélection d'un autre, dans la même zone du même menu.



fig.III.37

* Relations entre les fonctions représentées par les icônes

i) Relation de précédence nécessaire :

Les icônes faisant partie d'une certaine classe représentent des fonctions qui s'appliquent sur des objets géométriques plans (facettes) qui doivent être préconstruits. Dans le cas où cette condition n'est pas remplie, la sélection d'une icône faisant partie de cette classe aboutit à un message d'erreur (fig.III.38) :

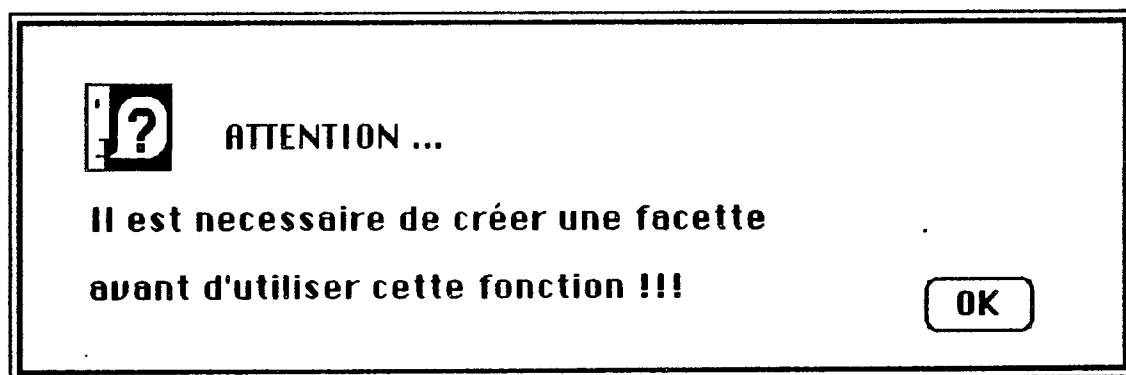


fig.III.38

Cette relation de précédence nécessaire existe donc entre les deux sous-ensembles de fonctions : {1, 2, 6, 7} et {3, 4, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16}. La sélection d'un quelconque des éléments du deuxième sous-ensemble ne peut avoir lieu qu'à un moment où l'un au moins des éléments du premier a été sélectionné et appliqué au moins une fois, et que le résultat de cette application n'a pas été annulé.

Il sera intéressant d'étudier, au cours des premiers contacts, l'interprétation que feront les élèves de ce message, au niveau des relations entre les objets géométriques concernés et du mode de fonctionnement du logiciel : par exemple, une surface prismatique sera construite sur une base préalablement donnée; ou une transformation ne peut être effectuée sans l'existence d'un élément de départ à transformer. Cette interprétation pourra même avoir une incidence sur leur construction de la signification des icônes.

*** Relations de précedence non nécessaire**

Ce sont les relations qui existent entre les fonctions représentées par les icônes 9 et 17, d'une part, et celles pouvant être des fonctions de départ ({1, 2, 6, 7}) d'autre part.

C'est une relation de précedence non nécessaire car la sélection de l'une de ces icônes, sans que la condition de précedence soit remplie, ne donne pas lieu à un message d'erreur, mais ne produit aucun effet à l'écran (en fait, la feuille de dessin est, dans ce cas, une feuille vierge).

Un tel cas de figure aura une influence sur la détection par l'élève de la fonction de telles icônes, et sur sa représentation du mode de fonctionnement.

b) Commandes représentées par les items de menus

Pour celles qui nous intéressent, et qui sont structurées par les deux menus "Modes" et "Curseur", ce sont les commandes servant à affecter des valeurs à certains paramètres, affectations temporelles ou permanentes jusqu'à nouvel ordre, ce qui permet de les organiser en deux classes :

- classe dont l'un des items est forcément sélectionné par défaut et tant que l'utilisateur n'en a pas sélectionné un autre dans la même zone (effet permanent jusqu'à nouvel ordre). L'item sélectionné détermine un état qui commandera un ensemble des fonctionnalités du système : pour l'un, les positions possibles que peut occuper le curseur au cours de la validation des points significatifs d'un objet géométrique, en ce qui concerne la zone du menu "Curseur"; et pour l'autre, ce qui est plus important dans la définition de la structure logique des fonctions et commandes, la transformation sélectionnée pour commander les paramètres dont l'utilisateur doit entrer les valeurs comme données au cours des séquences de dialogue imposées par la machine, suite à l'activation des fonctions : {3, 12, 13, 14, 15, 16}

- Classe dont la sélection d'un item est facultative, tributaire de la décision de l'utilisateur selon les besoins de la tâche ou les modalités désirées de saisie, et dont l'effet disparaîtra dès la fin de la séquence (ou sous-séquence) que l'item concerné gère, suite à l'activation d'une fonction graphique déterminée.

a) Séquences de dialogues, en relation avec la classification des icônes graphiques et des items de menus :

Pour mieux pouvoir cerner les relations hiérarchisées entre ces fonctions du système, nous donnerons des exemples des séquences de dialogue déclenchées par la sélection des icônes que nous avons classées selon leurs fonctions, et selon le type d'interaction élève / logiciel qui leur est sous-jacent; nous prendrons en considération les différentes familles de requêtes, par la machine, dépendant du mode de transformation commandant les différentes familles de fonctions :

* *Séquences d'interaction résultant de la sélection d'icônes représentant des fonctions de départ (Schéma III.5)*

* *Séquences d'interaction nécessitant la sélection d'une facette, sans implication d'une transformation (Schéma III.6)*

* *Séquences d'interaction résultant de la sélection d'icônes représentant des fonctions de transformations (Schéma III.7)*

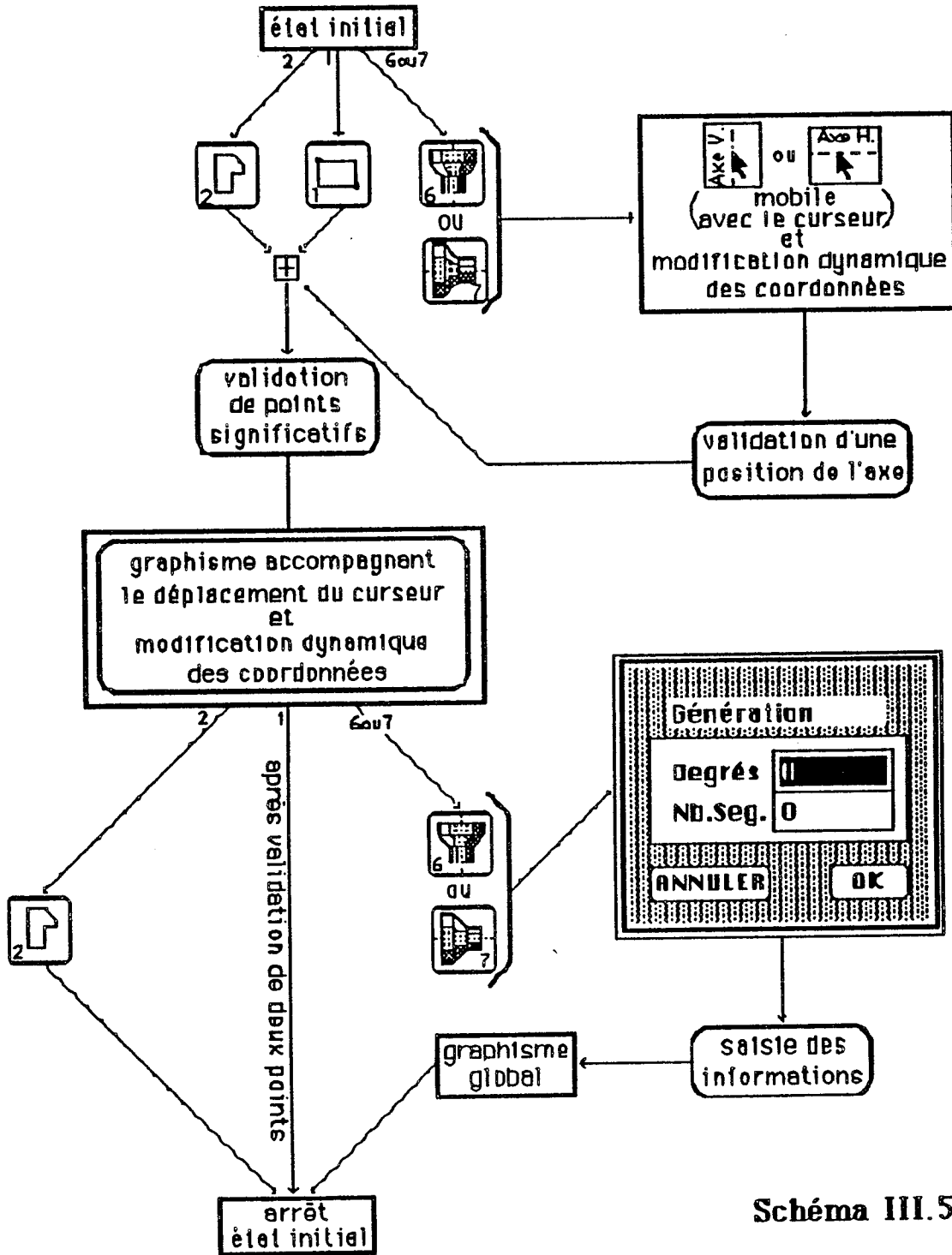


Schéma III.5

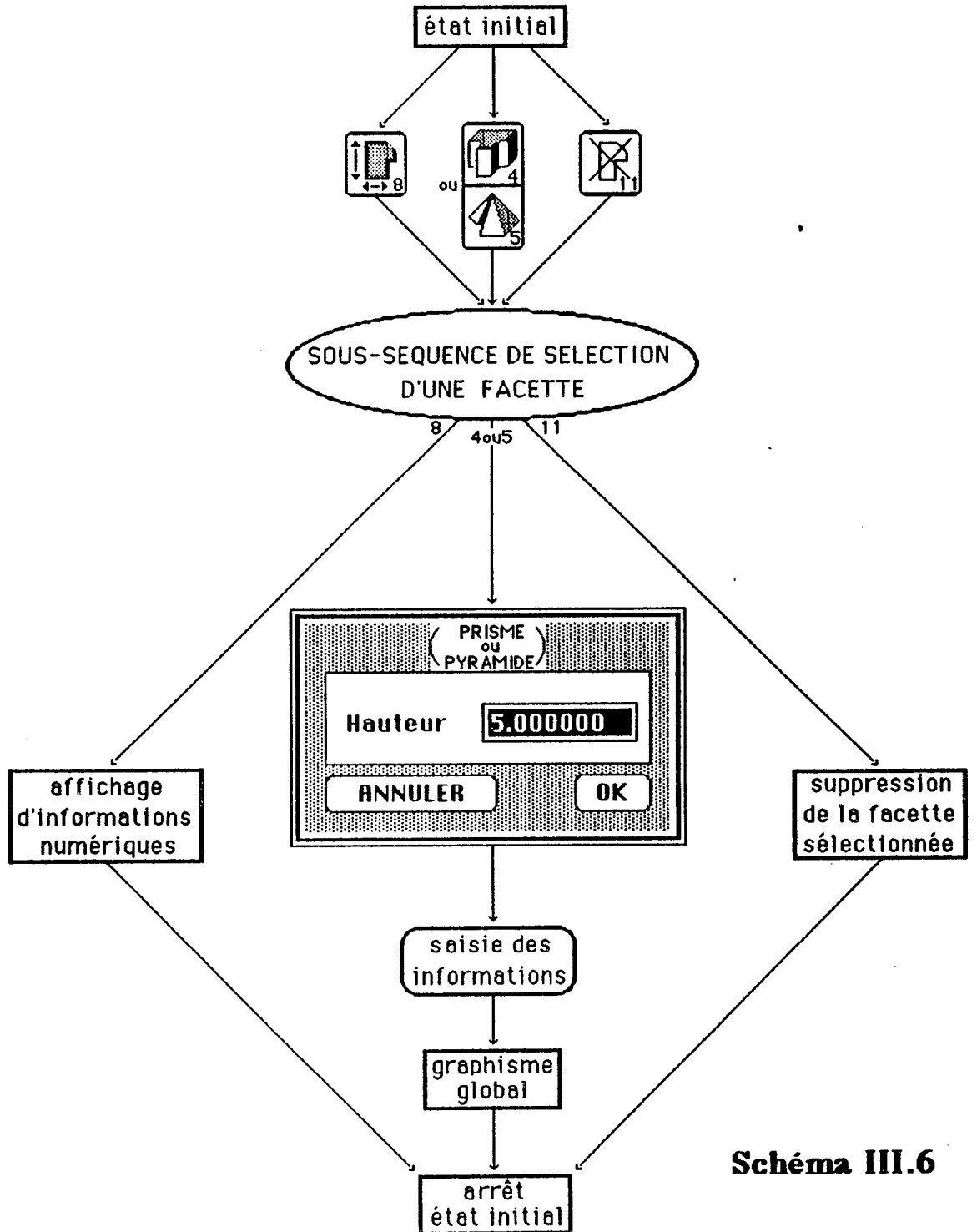


Schéma III.6

*note : pour la "sous-séquence de sélection d'une facette", regarder le schéma III.8

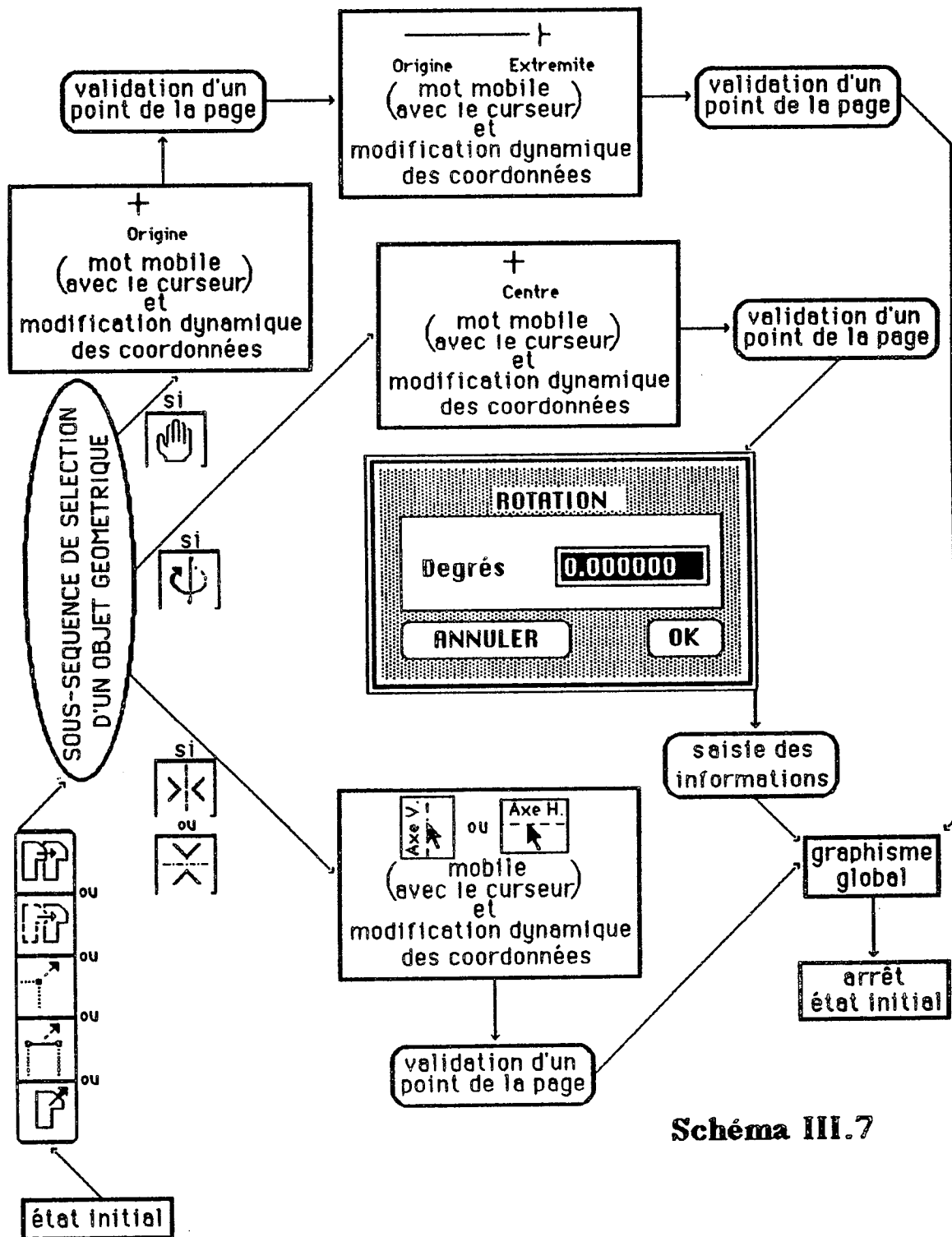


Schéma III.7

* note : pour la "sous-séquence de sélection d'un outil géométrique, regarder schéma III.8

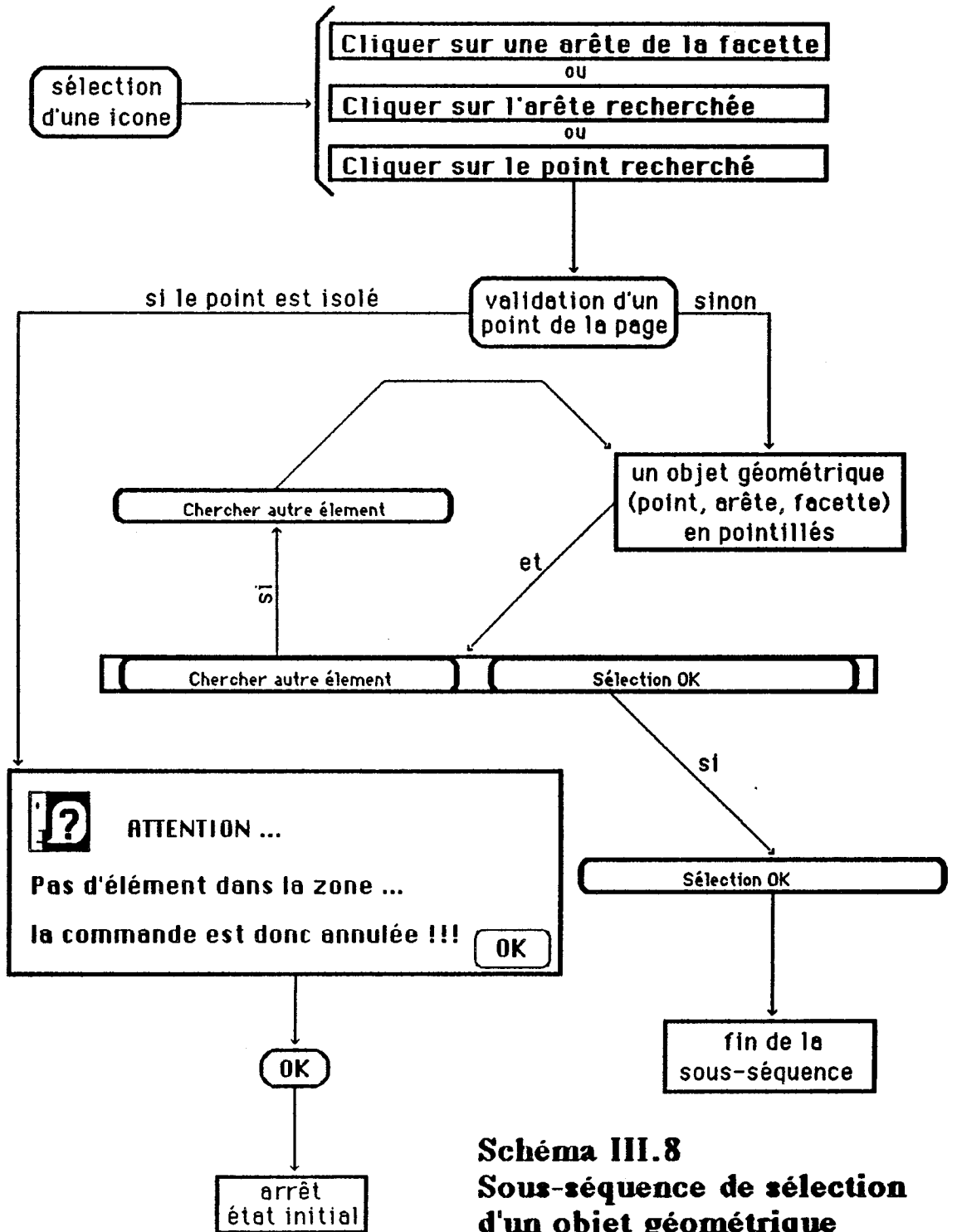


Schéma III.8
Sous-séquence de sélection
d'un objet géométrique

*** Légende des schémas:**

Désigne un état du système où la machine attend la validation, par l'utilisateur, de points qui auront le statut de points significatifs de l'objet à dessiner. Cet état se manifeste par la forme de croix que prend le curseur, et par le défilement, dans la fenêtre de communication, de chiffres désignant les coordonnées du point courant.



Forme encadrant une action de l'élève; dans les schémas, nous avons limité les possibilités d'action de l'élève à celle(s) qu'il doit normalement réaliser pour que l'opération se déroule normalement vers l'objectif pour lequel la fonction en question a été conçue (en éliminant, par exemple, les possibilités d'erreur, d'annulation, de modification de caractéristiques, d'introduction de paramètres facultatifs, etc.... qui peuvent avoir lieu à tout moment où le système est en état d'attente d'une action de l'élève).



Forme encadrant un affichage à l'écran, suite à l'action précédente de l'élève : graphisme, informations numériques, fenêtres de communication (messages, exigence d'action ou requête d'informations)

état initial

C'est l'état du système pour lequel l'élève a la possibilité d'agir, par la sélection d'une quelconque des icônes graphiques ou d'un item dans un menu. Cet état se manifeste par la forme particulière du curseur :



Cet état se distingue d'un autre état d'attente d'une action de l'élève, au cours d'une séquence de dialogue amorcée : dans ce cas, l'action de l'élève est contrainte par des réponses prédéterminées ou des actions de nature déterminée.

Notons que, dans les deux schémas III.5 et III.6, une condition supplémentaire s'ajoutera à la définition de l'"état initial" : l'existence d'au moins une facette créée auparavant.

graphisme global

C'est l'affichage d'emblée, par la machine, d'une production graphique, réalisée à partir de paramètres communiqués auparavant par l'utilisateur, au cours d'une séquence de dialogue. A l'opposition du "graphisme accompagnant le déplacement du curseur" pour lequel la production graphique se fait instantanément par l'action concertée des deux protagonistes (en interactif), le "graphisme global" est entièrement pris en charge par la machine (en différé), l'utilisateur ne pouvant pas intervenir durant le temps que met l'affichage progressif du dessin.

Notes:

- Au cours de l'action de l'utilisateur, la validation des points significatifs peut être effectuée : soit par sélection directe de positions particulières du curseur, en cliquant le bouton de la souris, soit par saisie des valeurs des coordonnées de ces points en choisissant un des items de la zone facultative du menu "Curseur"; chacun de ces items pouvant donner lieu à une séquence adaptée de dialogue ou de requêtes.

- Comme il a déjà été dit, les fonctions de transformation sont contrôlées par l'une des quatre transformations représentées par les items du menu "Modes"; la transformation qui les contrôle est cochée dans le menu, et indiquée par le dessin représentatif de l'icône n°18.

Dans l'analyse de la construction progressive par les élèves d'une représentation du mode de fonctionnement du logiciel, nous nous intéresserons particulièrement à de tels items, dont la sélection ne provoque aucun effet directement perçu. Son effet n'est que différé, et ne peut se manifester que par un cheminement reliant, dans un séquençement particulier, la sélection de l'item concerné et celle d'une autre fonction, notamment une des fonctions de transformation.

Dans les schémas précédents, nous avons présenté des séquences d'interaction qui se déclenchent par la sélection d'une des icônes. La logique suivie dans notre exposition est la logique du fonctionnement; en effet, ces séquences d'interaction ne tiennent compte ni de l'objectif de l'action, ni des intentions de l'utilisateur, sauf peut-être l'intention de création ou de transformation représentée par l'icône sélectionnée, lorsque sa sélection est faite d'une manière consciente et finalisée, et non au cours d'un essai. Or, à des moments précis d'une séquence de dialogue, il peut y avoir une intervention facultative de la part de l'utilisateur, dans le but de définir des paramètres particuliers, ou de définir un mode de validation des points significatifs d'un objet géométrique, différent de celui imposé par défaut par le logiciel

(cliquer des points de la fenêtre sélectionnée de la page-écran). En particulier, nous nous intéresserons à trois items de la zone d'items facultatifs :

"Coord Absolues"

"Coord Relatives"

"3° coordonnée",

pour ce que leur expression lexicale peut évoquer chez les élèves comme relations avec une connaissance initiale, concernant le repérage plan, et notamment par l'utilisation du mot "coordonnée". Nous analyserons les problèmes particuliers qui poussent les élèves à sélectionner ces items, et leur conduite vis-à-vis de la requête de la machine, déclenchée par leur sélection.

Dans la partie précédente de l'étude du type d'interaction avec le logiciel Mac Space, nous ne nous sommes intéressée qu'aux traitements qui nous semblaient impliqués directement dans notre séquence. Notre objectif n'était pas de présenter un mode d'emploi du logiciel, mais de structurer ses fonctionnalités selon la complexité des séquences de dialogue qu'elles impliquent, en relation avec la hiérarchie des interrelations entre fonctions et commandes.

Au cours de l'activité des élèves, nous accorderons une attention particulière, dans le cadre du partage d'opérations qu'imposent ces séquences :

- d'une part, aux moments où l'élève attend, de la part de la machine, une réponse à une action qu'il vient d'accomplir; réponse (ou absence de réponse) qui sera étudiée en fonction de l'anticipation et des attentes de l'élève;

- d'autre part, aux moments où le système est en état d'attente d'une action de l'élève, action qui sera étudiée en recours à sa finalité immédiate, et parfois à sa place dans un algorithme de construction, basé sur la représentation que se fait l'élève du mode de fonctionnement de la machine.

Après cette étude des différents paramètres de l'interface, repérés dans la littérature de l'ergonomie de la communication homme-machine, nous ne pouvons passer à l'analyse du déroulement effectif de cette interaction, au cours de l'activité des élèves durant la séquence de travail avec Mac Space, sans jeter un coup d'oeil sur ce que Schackel a appelé : "le format et la verbosité". En effet, l'organisation spatiale des informations et la présentation, par la machine, des informations, ainsi que le langage utilisé dans la formulation des commandes, requêtes ou messages, auront de l'importance dans le déroulement, et peut-être l'orientation, de l'activité des élèves.

III.2.4. Format d'affichage des informations dans l'interface de Mac Space

Cette analyse sera faite à travers la page-écran de Mac Space : son organisation spatiale, et les différents états (permanents ou occasionnels) qu'elle peut prendre. Sous le titre "Format", nous étudierons : les caractéristiques géométriques et les caractéristiques sémiologiques de cette page-écran.

a) Caractéristiques géométriques :

Elles concernent l'organisation spatiale de l'information sur la page-écran. L'importance de ce facteur dans l'interaction avec la machine en général, et dans son utilisation dans une situation didactique en particulier, est due à plusieurs raisons :

- cette présentation de l'information et l'exposition par défaut, sur la page-écran, de certaines possibilités, alors que d'autres ne pourront être connues sans une action intentionnelle, influenceront l'orientation de l'activité des élèves, et leurs préférences et priorités dans le choix de leurs essais; par exemple : icônes / commandes; les commandes étant des items de menus dont le contenu ne peut être connu que par une action intentionnelle, la recherche des élèves se concentre plutôt autour des icônes graphiques, affichées par défaut.

- cette présentation de l'information repose, en grande partie, sur l'image et le figuratif; elle répond à des recommandations qu'on trouve dans la littérature, en ergonomie de la communication, pour des raisons spécifiques aux études ergonomiques, et à leur raison d'être (minimiser le coût et améliorer la rentabilité des systèmes de communication Homme-machine). Notre recherche, abordant le problème d'un autre point de vue, envisagera l'analyse de la présentation de l'information, du point de vue de l'impact de cette présentation sur l'activité des élèves : "Si l'information est utilisée pour construire une "overview" de son activité, un utilisateur aura besoin, en général, de digérer rapidement une grande quantité d'informations, pour qu'il puisse développer un modèle global et une compréhension de sa situation. Ce modèle doit inclure une compréhension de "patrons", et des interrelations entre les facteurs variés, qui sont difficiles à extraire d'un format tabulaire d'information. A la place, on a une forme figurative, qui stimulerait les processus mentaux visiospatiaux pour créer la conceptualisation nécessaire". (Patterson 1984, p.13).

Donc, à un niveau encore plus avancé que celui des choix locaux des procédures et opérations élémentaires pour résoudre un problème, la présentation de l'information peut avoir une influence au niveau de l'organisation et du séquençement de ces opérations élémentaires, dans le cadre d'un algorithme de travail, dont la construction dépendra de la représentation que se fait l'élève des possibilités disponibles et affichées.






- comme c'est le cas en général pour les logiciels de graphisme qui fonctionnent sur "Macintosh" de "Apple", et d'après la séquence de travail antérieure avec Mac Paint, qui en fait partie, nous supposons qu'une sorte de contrat implicite s'était instauré entre les élèves et la machine, concernant l'organisation spatiale de l'information : les icônes graphiques servent à réaliser les dessins; les menus servent à la recherche d'une solution quand on est confronté à un problème; la machine peut afficher des fenêtres occasionnelles, qui peuvent, parfois, envoyer des rappels d'enregistrement, ou des messages d'erreur; le curseur peut prendre des formes différentes, selon l'application en cours ou l'état du système, etc ... Nous pensons que ce contrat implicite aura une influence sur la représentation initiale chez les élèves du mode de fonctionnement du logiciel, qui guidera leurs premiers tâtonnements en vue de la résolution d'un problème déterminé.

b) Caractéristiques sémiologiques :

Elles se manifestent par la présentation iconique d'unités informationnelles particulières, ou de fonctionnalités du logiciel. Deux catégories d'images évocatrices sont à prendre en compte :

i) Les formes du curseur

Le curseur prend, selon l'état du système, des formes différentes, pouvant servir à l'utilisateur comme indications correspondant à la possibilité ou non d'agir, et à la nature d'action possible dont il dispose :

-  sélection de commandes ou d'applications graphiques
-  sélection de fenêtres et disponibilité à l'utilisateur
-  curseur graphique
-  saisie de données alphanumériques, à l'aide du clavier
-  possibilité de modifier la taille des fenêtres de graphisme

ii) Les icônes graphiques

Cette catégorie, plus que la précédente, intéressera notre étude, dans la mesure où la construction, par les élèves, d'une représentation fonctionnelle du logiciel, pour la réalisation d'une tâche particulière, sera tributaire de l'interprétation qu'ils accorderont aux icônes correspondantes.

Morris (1946) considère comme "iconique le signe qui possède quelques propriétés de l'objet représenté". Par contre, nous pensons que l'interprétation des représentations iconiques offertes par Mac Space nécessite quelque chose de plus que l'évocation perceptive, et doit aller "au-delà de l'analogie" (Metz, 1970); elle doit se baser sur l'interprétation de codes relevant d'un champ conceptuel déterminé (cf. § IV.3)

En effet, ces icônes représentent davantage des actions que des objets : des fonctions de création, d'affichage, de transformation,... Ces actions sont à détecter à partir de la lecture des objets représentés par l'image, et des signes spéciaux qui y figurent : les flèches dans les icônes n°(3, 12, 13, 14, 15), les points-sommets dans l'icône n°1, la croix dans l'icône n°(11) par exemple. Par l'icône n°1, (Rectangle), on peut comprendre, par exemple : "création d'un rectangle, à partir de la définition de deux sommets opposés". De même, par l'icône n° 3 (Duplication) on peut comprendre : "dédoublément d'une facette, selon le type de transformation valide", explications qui ne se réduisent en aucun cas à l'objet représenté par l'icône.

III.2.5. Langage de Mac Space

L'étude du langage utilisé dans les logiciels, surtout dans le cas de logiciels conversationnels, fait l'objet de recherches abondantes, dans le domaine de l'ergonomie de la communication Homme / machine; les spécificités de ce domaine au sein duquel se fait l'étude du langage ont même abouti à de nouvelles définitions d'anciens référents : "malgré que le mot (langage) est dérivé du Latin et du Français pour "langue", reconnaissant son origine comme un moyen de communication parlée, "langage" est désormais utilisé comme le terme générique, même quand il est appliqué à l'écrit, aux mathématiques, ou à d'autres contextes symboliques." (Schackel 1980).

Donc, sous l'expression "langage de Mac Space", nous classerons : les items dans les menus (Enregistrer, Copier, 3° Coordonnée, choisir perspective, Vue de côté, orthonormé, Définir Zoom, Préférences, etc...), les messages que la machine adresse de temps en temps à l'utilisateur ("Attention, pas d'élément dans la zone", "Enregistrer avant de quitter ?", Attention, cette commande n'est utilisable qu'avec les accessoires de bureau", "Cliquer sur

une arête de la facette", "chercher autre élément", etc...) et les séquences d'informations numériques accompagnant la création d'un objet géométrique (défilement des coordonnées, absolues ou relatives dans la fenêtre de communication).

Notons que notre analyse, le long de la séquence d'interaction, ne s'arrêtera pas au niveau lexical du langage du logiciel (compatibilité des mots avec le langage disponible chez les élèves, polyvalence, représentations symboliques pouvant mobiliser des connaissances antérieures, etc ...) mais à l'architecture qu'en fait le logiciel, et sa manière de relier tous ses composants : "strictement, le langage désigne la structure sous-jacente, avec ses composantes diverses et les règles et procédures pour les relier entre elles" (Schackel 1980). De ce ressort, relèvent par exemple la structuration et l'organisation des items des menus : "En général, le modèle du système doit être tel que l'utilisateur potentiel adhère naturellement aux capacités du système, d'une façon qui complète ses propres caractéristiques humaines" (Patterson 1984). Le voisinage, l'ordre et l'appartenance au même menu de quelques items particuliers influencera l'interprétation qu'en feront les élèves.

Nous supposons que la conception des logiciels, en général, et celle de celui utilisé dans cette recherche, en particulier, doit se fonder sur de telles suggestions, résultant d'études ergonomiques, en vue d'une rentabilité meilleure. Or, ces mêmes études ont montré à maintes reprises que ce souci de structuration et de classification des items, à l'aide de règles relevant de la logique et du domaine de connaissances traité, n'est pas toujours compatible avec l'organisation que peut se représenter l'utilisateur des mêmes fonctions. Cette incompatibilité s'accroît dans le cas d'élèves non-spécialisés dans le domaine concerné. Si quelques-uns des items feront appel à des connaissances ou représentations initiales, et à des significations approchées, d'autres n'auront peut-être aucune signification. La structure des commandes peut alors influencer sur la construction du sens de quelques-unes d'entre elles en fonction de la signification de leurs voisines.

D'autre part, l'intérêt que nous portons au langage utilisé par le logiciel s'accroît d'autant plus qu'il est interactif; c'est un fait important, car les choix des mots et des structures de ce langage peuvent influencer, voire modifier, l'action de l'élève, à tout instant où le système est en état d'attente d'une telle action. Notre analyse devra donc intégrer, plus loin qu'une étude lexicale du langage du logiciel, l'étude du dialogue élève-machine : "le dialogue est l'usage interactif d'un langage mutuellement convenu entre les communicateurs, comme moyen d'échange de l'information ...[...]. Alors que le langage est l'intermédiaire de transfert, le dialogue implique des conséquences plus dynamiques, chez les communicateurs humains, dans la construction interactive et la modification de la compréhension mutuelle (Schackel 1980)

L'étude du langage du logiciel utilisé dans la séquence est une dimension importante et indispensable pour l'étude de l'interaction élève / logiciel, surtout dans une séquence telle que celle que nous avons menée avec Mac Space (beaucoup plus qu'avec Mac Paint); en effet, le rôle de l'outil informatique interfère profondément et à tout moment avec l'activité de l'élève pour la résolution du problème qui se fait au niveau d'une logique de fonctionnement non transparente, et beaucoup plus complexe que la simple facilitation de la tâche de dessin, par la puissance et la rapidité de l'action, comme avec Mac Paint.

Parmi les problèmes à traiter, nous sommes conscients que "l'échange des significations entre l'homme et la machine est la principale difficulté de leur dialogue". (Pinaud 1983). Ce problème de signification, qui sera de grande importance dans notre séquence, de par l'influence qu'il peut exercer sur l'évolution des stratégies des élèves et sur leur représentation d'une construction fonctionnelle du système, nous amène à distinguer deux niveaux, certes interdépendants, auxquels se situera notre étude :

a- Le niveau de la communication utilisant des mots et des expressions, relevant du "langage naturel", ou du "langage Macintosh".

Comme tout logiciel fonctionnant sur "Macintosh", Mac Space est conçu de façon à ce que les items et messages soient formulés dans un langage, le plus possible, proche du "langage naturel", restreint à un ensemble de mots et expressions (menus, messages) qu'un utilisateur occasionnel peut comprendre, et auxquels il peut accorder une signification, dans le cadre du traitement d'information par le logiciel, à partir de sa signification dans un contexte de "langage naturel" : il y a donc un processus de construction de significations des termes dans un registre et un cadre d'action bien défini, à partir du langage dit "naturel" qui est "fonctionnellement polyvalent vis-à-vis des diverses activités humaines; cependant, et sans doute de ce fait, il présente des inconvénients sérieux pour des activités précises (ambiguïté, difficultés liées au contexte, polysémie, synonymie, etc ...)" (Bisseret 1983, p.198).

Pour ce qui concerne les termes standard spécifiques au système "Macintosh", nous pensons que ces ambiguïtés qu'évoque Bisseret ont été levées par l'activité qu'ont menée les élèves avec Mac Paint, et que les termes appartenant à cette catégorie ont acquis leur signification spécifique, au moins au niveau de l'action. C'est le cas, par exemple, des termes : "Fichier, Nouveau, Enregistrer, Quitter, Couper, Copier, Coller, Annuler, OK, ..."

b- Le niveau de la communication concernant le champ conceptuel représenté par le logiciel. C'est surtout de termes et expressions relevant de ce niveau que nous nous occuperons dans l'analyse des interactions entre l'élève et la machine, au cours de la résolution des problèmes posés. En effet, ce sont ces termes qui auront un rôle fondamental dans la mobilisation de connaissances déjà existantes chez les élèves, et même dans l'évolution de ces connaissances.

L'interprétation par les élèves de tels termes, et la construction d'une signification de ces termes par rapport à la globalité d'une représentation du mode de fonctionnement du logiciel sera liée :

i) D'une part au premier contact avec le logiciel, qui a été fait à travers sa "page standard", et qui relève d'un cadre de connaissances bien spécifique : le dessin technique; c'est le cas de termes comme : "vue de dessus, axonométrie, perspective, ..."

ii) D'autre part au contexte de l'atelier d'informatique et de la séquence d'enseignement qui a toujours traité de problèmes de représentations graphiques d'objets de l'espace, et particulièrement d'assemblages de cubes.

L'interprétation et la construction de sens par les élèves de ce sous-langage utilisé par Mac Space, et lié à son champ conceptuel, se fera donc en référence à ce que Bisseret appelle un "langage opératif" : "l'observation courante montre un phénomène "naturel" lui aussi : lorsqu'au moins deux personnes coopèrent pour un objectif d'action précis, elles tendent, ce faisant, à construire (souvent de façon non intentionnelle) un langage particulier à partir du langage "naturel" général (par exemple : le langage de la navigation à voile, celui de l'équipe chirurgicale en salle d'opération, etc ...)" (Bisseret 1983, p.198). Dans l'atelier d'informatique au sein duquel se sont déroulées les expérimentations, nous avons assisté à un phénomène analogue, où le besoin des élèves de communiquer entre eux lors de prises de décisions (surtout entre les deux partenaires d'un même binôme) a favorisé une certaine convergence vers l'utilisation d'un tel sous-langage, et vers la construction de significations de plus en plus convergentes des mots et expressions utilisés.

IV. Présentation des phases d'initiation

IV.1. Introduction et objectifs :

L'analyse précédente des différents aspects de l'interaction élève / Mac Space montre la complexité de cette interaction, et l'aspect aléatoire de ce que peut être le résultat des premiers contacts entre ce logiciel et des élèves ne l'ayant jamais expérimenté. En effet, d'après la structure hiérarchisée des commandes et des icônes graphiques, des réponses de la machine peuvent se produire, qui sont difficiles, voire impossibles à interpréter si l'utilisateur ne connaît pas a priori les relations qui existent entre les différents items. Un exemple peut être donné par les deux séquences de dialogues différentes qui peuvent être produites suite à la sélection, à deux moments différents, d'un même icône graphique de transformation (3, 12, 13, 14,...), si entre-temps un changement de mode (transformation) à été effectué, par la sélection d'un nouvel item du menu "modes".

Lorsqu'une telle séquence de travail se fait dans le cadre des premiers essais des élèves avec le logiciel, et que, au cours de la séquence, d'autres items ont été essayés, nous pensons qu'il est très peu probable que les élèves puissent construire des liens de causalité entre les différents items sélectionnés selon un séquençement déterminé, et les réponses de la machine, parmi la quantité d'informations offertes dans ce cas; la prise de conscience, si elle a lieu, de la différence existante entre les deux séquences de dialogue déclenchées par la sélection de la même icône ne fera qu'accroître la confusion.

De ce fait, nous pensons qu'une phase de familiarisation libre comme celle que nous avons réalisée au début du travail avec Mac Paint aurait amené à des conséquences fâcheuses :

- * au niveau de la recherche, car les essais peuvent amener à des séquences de dialogue, et par suite, des interprétations par les élèves, qui relèvent d'un éventail trop large pour être contrôlables a priori, et analysables en modèles de fonctionnement que peuvent se construire les élèves;

- * au niveau de la situation d'enseignement construite, en ce qui concerne :

- i) le temps qui la limite; les essais dispersés peuvent en faire perdre beaucoup,

- ii) la nature des problèmes à résoudre, composant la situation, et qui nécessitent l'utilisation d'une catégorie des fonctions et possibilités offertes par le logiciel, catégorie qui ne sera pas nécessairement celle qu'auraient explorée les élèves.

Une phase d'initiation contrôlée s'est donc avérée indispensable dans ce cas. Le choix des activités de cette phase est lié à la nature des problèmes que nous poserons, et à l'objectif d'étudier :

i) **les représentations initiales** chez les élèves de ce que peut réaliser le logiciel, représentations pouvant interagir avec le contenu de la séquence d'enseignement réalisée jusqu'à cet instant, et avec leur interprétation des informations données par la "page standard";

ii) **la construction et l'évolution**, chez les élèves, d'une représentation du mode de fonctionnement du logiciel.

En somme, l'objectif de cette phase d'initiation est loin d'être celui d'un manuel d'utilisation; son objectif est de présenter, par l'action, les effets qui découlent de l'utilisation d'un nombre limité d'outils, en évitant l'arborescence riche et complexe du logiciel, explicitée dans un paragraphe précédent (cf. § III). Un double enjeu régit ces choix : faire connaître certaines applications, en laissant aux élèves l'observation et l'interprétation de leurs effets sans, pour autant, vouloir imposer l'utilisation d'outils particuliers qui orienteraient vers des stratégies particulières.

D'un autre côté, les choix de cette phase tiennent compte des analogies que les élèves peuvent utiliser, dans leur interprétation, entre : le type d'interaction de Mac Paint qu'ils ont déjà expérimenté et les aspects analogues, dans la présentation visuelle de l'information, dans Mac Space.

Comme exemple, on peut prendre l'attitude des élèves face aux icônes graphiques : nous estimons que, d'après leur manipulation de telles représentations symboliques, un processus d'identification entre l'icône et la fonction de création qu'elle représente a été mis en oeuvre le long de la séquence, identification qui a dû s'accroître au fur et à mesure de l'avancement de l'activité, et en liaison avec l'interaction constante entre l'action de sélectionner une icône et le fait d'utiliser un outil matériel de dessin.

IV.2. Fondement théorique des choix de la phase de familiarisation :

Le logiciel utilisé dans cette séquence n'est pas un didacticiel. Il a été conçu pour d'autres finalités que l'enseignement; il porte sur un contenu conceptuel assez large, et offre à l'utilisateur un grand éventail de pratiques relevant de ce contenu. Les objectifs de notre séquence d'enseignement et la classe des problèmes choisis pour leur réalisation ne concernent qu'une catégorie de ces pratiques, celles que nous estimons capables de mobiliser

des savoir-faire et des savoirs chez les élèves, et de les faire évoluer. Nous avons donc décidé de délimiter le champ d'utilisation du logiciel par l'intermédiaire d'une construction guidée, qui fera l'objet du début d'interaction des élèves avec Mac Space.

Cette décision est fondée sur des résultats d'études en ergonomie, ayant pour objet l'interface comme barrière : "un des résultats frappants (Eason et al. 1974) est que peu d'utilisateurs exploitent pleinement les facilités disponibles du système. L'effort supplémentaire de mémoriser des procédures complexes non-utilisées fréquemment est souvent plus grand que l'effort requis pour accomplir la même opération d'une manière qui peut être moins efficace, du point de vue informatique. Pour réaliser une opération non-usuelle, l'utilisateur préfère souvent utiliser trois ou quatre commandes familières et fréquemment utilisées, au lieu d'une option complexe et non usuelle". (Stewart 1976)

La question à laquelle nous avons été confrontée était donc : quelles opérations élémentaires du système faire connaître aux élèves ? dans quel ordre ? et comment ? ayant présenté quelques opérations élémentaires aux élèves, en chercheront-ils d'autres pour une meilleure performance ? au contraire, ayant modifié la nature de la tâche proposée aux élèves, essayeront-ils d'adapter les quelques opérations élémentaires à la nouvelle situation ?....

En fait, ces questions relèvent d'un problème de fond plus large que se posent les études en ergonomie, en adoptant comme objectif la formation de l'utilisateur pour qu'il puisse utiliser au maximum les possibilités de la machine. Cet objectif donné lieu à plusieurs questions : "quelle représentation opérationnelle créer chez l'utilisateur et comment ?" (Bisseret 1983, p.198) "quelles connaissances est-il suffisant de donner à l'usager pour satisfaire ses besoins d'utilisateur ?" (Richard 1983, p.3).

Nous avons donc été confrontée à un problème de choix du contenu d'une formation "hommes-machines". Dans ce contexte, un double enjeu contraignait nos choix : l'objectif relevant de l'enseignement, et visant à guider les élèves vers des éléments premiers pour une utilisation pas trop dispersée du logiciel, et l'objectif relevant de la recherche, et visant à contrôler, dégager et analyser les phénomènes accompagnant la détection et l'utilisation des fonctions d'un logiciel. Alors comment, pour répondre à cet enjeu, exposer aux élèves des fonctions élémentaires nécessaires au début de leur activité ?

Des résultats de recherche autour des systèmes de formation "homme - machine" plaident pour "ne pas essayer d'enseigner à l'utilisateur le langage (nous faisons l'extension à l'interface) avant qu'il commence à travailler avec le système. La notion centrale est que

l'utilisation doit évoluer graduellement au fur et à mesure que l'utilisateur accumule de l'expérience en matière de la performance de la tâche, en utilisant le système" (Eason, p.889). Cette affirmation par Eason, valable dans le cadre d'une formation, ne propose pas dans le cas d'une recherche contrôlée de voie pour délimiter les informations de base essentielles à un début d'interaction, : "le problème est par où commencer ? parce que l'utilisateur doit être capable de faire quelque chose d'utile avec un minimum d'instructions initiales" (ibid., p.889).

Pour ce qui concerne nos choix, et en fonction des objectifs de la séquence en général, nous avons procédé à une phase de familiarisation et d'initiation composée de deux étapes :

- reconnaissance de formes, et de fonctionnalités possibles, en relation avec le contexte de la séquence et la finalité globale du logiciel, puis formulation d'une description de fonctions élémentaires;

- une activité semi-guidée, axée autour d'une pratique centrale par rapport aux tâches proposées par la séquence (construction d'un rectangle puis d'un pavé), et pouvant amener les élèves à une prise de conscience de quelques relations entre causes et effets à travers les informations qu'ils reçoivent à l'écran.

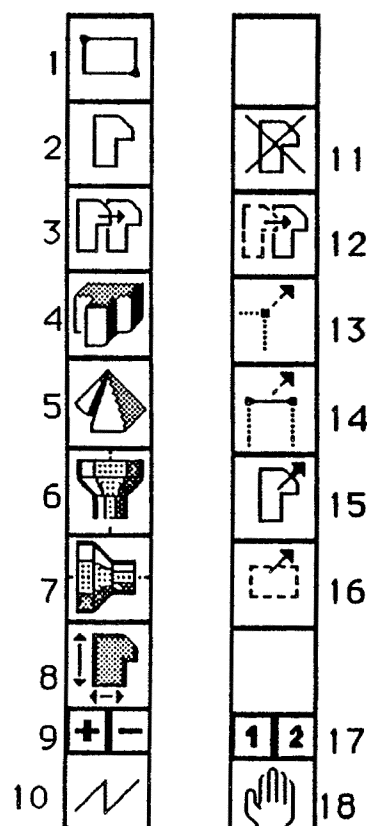
D'après ce qu'affirme Piaget (1974), cette prise de conscience procèdera de la périphérie au centre : elle porte d'abord sur les actions qui conduisent aux résultats, avant d'atteindre la structure de coordination entre ces actions, d'une façon progressive, allant du local au global. Dans l'analyse de l'activité des élèves au cours de cette phase, nous nous intéresserons aux degrés successifs de prise de conscience, et à son évolution : des formes et objets aux fonctions et fonctionnement des procédures impliquées, possibles par le logiciel.

IV.3. Analyse de l'activité "Icônes" : reconnaissance de fonctions :

"Peux-tu deviner la fonction de quelques-unes des icônes que tu peux voir dans la page standard de Mac Space?"

Pour chacune de ces icônes, donne son numéro, donne-lui un nom, et explique à quoi sert-elle, et comment peut-on s'en servir?"

Précisons que les élèves ne pouvaient pas manipuler ni essayer les icônes; à l'écran, s'affiche la "page standard" de Mac Space.



Deux objectifs nous ont amenée à proposer cette activité :

IV.3.1. Objectifs :

i) l'extériorisation des conceptions initiales des élèves, à propos des tâches de dessin que peut réaliser le logiciel, des opérations élémentaires dont on peut avoir besoin pour la réalisation de telles tâches, en relation avec le champ conceptuel dont elles relèvent, et des éléments à définir comme données, lors d'une opération particulière.

ii) la création d'une situation de familiarisation qui invite les élèves à une réflexion sur les icônes et leur signification, par la nécessité de formuler une nomenclature et une description de fonctionnement, qui pourront relever du champ conceptuel précis; ceci, tout en ayant conscience qu'ils auront la possibilité de valider ces réponses par la manipulation ultérieure.

IV.3.2. Cadre théorique de l'analyse des réponses :/

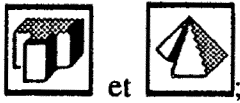
Remarquons, avant de passer à une classification des réponses des élèves, que cette activité d'interprétation, et notamment des représentations iconographiques de Mac Space, présente un exemple typique pour lequel l'activité intellectuelle des élèves doit dépasser l'analogie, vers des abstractions et des relations logiques : "Le message visuel peut présenter *dans son aspect global* un très fort degré d'iconicité sans cesser pour autant d'inclure en lui des relations logiques plus ou moins systématisables." (Metz 1970)

Les référents des figures de Mac Space étant des objets géométriques, l'interprétation se situe déjà à un niveau assez élevé d'abstraction : la figure du rectangle, par exemple, représente une classe de rectangles, représentables par le logiciel, ayant des positions particulières de l'espace tridimensionnel; elle représente donc un ensemble de propriétés et de relations géométriques. Quant aux signes figurant dans cette icône, les deux points extrêmes mis en relief représentent le modèle d'action requis pour la construction d'un élément particulier de cette classe; ils représentent, plus abstraitement, une conception et une définition particulière de cette catégorie d'objets.

En regardant du côté des élèves, nous nous intéresserons à leur interprétation de la signification d'une icône à travers ces trois paramètres : la reconnaissance de la figure géométrique impliquée, la détection à travers les signes particuliers et culturalisés de ses propriétés pertinentes pour la définition conceptuelle qu'en fait le logiciel, et la liaison à établir avec le contexte de la séquence et l'ensemble des fonctionnalités du logiciel.

Donnons un exemple : pour l'icône n°1 par exemple, la figure géométrique est celle du "rectangle". Les signes particuliers sont les deux sommets opposés mis en évidence, ce qui signifie que le rectangle serait défini par la validation de deux opposés de ses sommets. Pour aboutir à une telle interprétation, nous sommes conscients que l'élève doit aller beaucoup plus loin que la simple analogie, ou la reconnaissance de la forme géométrique représentée. Un cadre de référence lui sera offert par le contexte de la séquence, et la nature des objets qui y sont jusque-là impliqués.

Dans cette activité, les élèves auront à déchiffrer et interpréter des codes, qui ne sont pas toujours nécessairement de la même nature que des codes de ressemblance et d'analogie. Nous pensons, par exemple, au code de la perspective, qui sera utilisé (consciemment ou inconsciemment) dans la lecture des icônes :



C'est aussi le cas de la signification de la flèche dans les icônes telles que :



IV.3.3. Analyse des réponses des élèves :

Pour pouvoir exploiter les réponses des élèves dans la direction des finalités de cette activité, abordons-les selon les trois directions suivantes, non-indépendantes des trois composants des codes iconiques :

- a) le contexte de la séquence d'enseignement,
- b) les signes considérés comme pertinents par rapport au logiciel, et les relations repérées dans les représentations iconiques,
- c) la nature des explications données par les élèves.

a) Le contexte de la séquence d'enseignement :

Nous lui accorderons le statut de "conditions circonstancielles", au sens d'Eco (Eco 1970), pour la reconnaissance des codes. Deux aspects du contexte nous intéressent : le contenu conceptuel de la séquence, et l'influence du travail précédent avec Mac Paint.

* le contenu conceptuel de la séquence :

il fournira aux élèves un cadre de référence et d'interprétation de représentations, qui auraient pu être interprétées autrement, dans un autre contexte. Ce cadre de référence est celui des représentations graphiques d'objets de l'espace, qui a marqué toute la séquence, jusque-là, et dont la continuité a été affirmée par la page standard de Mac Space, qui l'élargit en introduisant aussi le cadre du dessin technique. Des exigences d'une telle tâche, des savoir-faire et des connaissances dans ce domaine seront mobilisés dans l'interprétation des icônes. Donnons des exemples.

- Relèvent du domaine conceptuel de la géométrie les explications :



"Dessine des carrés et des rectangle de différentes dimensions" (S.Z.-CPPN)

"il sert à dessiner un rectangle" (S.O.-3°.86)

"sert à faire un rectangle en donnant les deux points extrêmes" (D.R.-3°.87)

"pour savoir les diagonales" (E.R.-3°.87)



"ça dessine des droite" (S.Z.-CPPN)

"Pour dessiner une figure géométrique" (O.S.-3°.87)



"ça doit dessiner des triangles ou des piramides" (S.Z.-CPPN)

"sert à construire des pyramide" (M.F.-CPPN)

"pour faire un dessin rectangulaire (icône) pyramide" (J.S.-3°.87)



"sert à faire tourner une figure ayant un axe de symétrie vertical autour de celui-ci" (D.R.-3°.87)

"axe de symétrie verticale" (E.R.-3°.87)



"sert à faire tourner une figure ayant un axe de symétrie horizontal autour de celui-ci" (D.R.-3°.87)

"axe de symétrie horizontale" (E.R.-3°.87)






"Pour changer les dimensions des côtés" (O.S.-3°.87)





"c'est pour faire des droites qui ne se détache pas" (S.Z.-CPPN)

"une lettre N = sert à faire des traits" (D.K.-3°.86)

	"Pour tracer des droites"	(O.S.-3°.87)
	"angle"	(J.S.-3°.87)
		
	"pour supprimer les droites"	(S.Z.-CPPN)
		
	"sert à agrandir (l') un angle"	(M.F.-CPPN)
	"changer les coordonnées du point d'un rectangle"	(O.S.-3°.87)
	"pour dessiner les arêtes d'un cube"	(J.S.-3°.87)
		
	"Pour déplacer un côté du rectangle"	(O.S.-3°.87)

Dans ces exemples, comme dans d'autres, on remarque l'utilisation de mots appartenant au registre de la géométrie. L'interprétation des figures essaye de les classer dans des catégories d'objets géométriques, selon leurs propriétés considérées comme pertinentes; même lorsque les propriétés pertinentes sont difficiles à repérer, ou que la figure n'appartient pas à une classe bien déterminée et restreinte d'objets géométriques, contraints par un

nombre assez élevé de propriétés (cas de , représentant un polygone), elle est, soit appelée d'une manière générale, "figure géométrique", soit décomposée en ses composants qu'on peut classer d'une manière évidente; c'est le cas, par exemple de la figure de l'icône ci-dessus, décomposée en "droites".

D'autre part, l'exemple de l'icône  est significatif, au niveau de la projection du registre de la géométrie sur l'interprétation de icônes : bien que la figure a été vue comme ressemblant à la lettre "N", et qu'elle aurait pu être interprétée comme la lettre "A" de Mac Paint par exemple, les interprétations données montrent la persistance des élèves à l'interpréter à l'aide de concepts géométriques, en y recherchant des formes géométriques : droites ayant des intersections, traits, angles, etc.

- Relèvent du domaine conceptuel du dessin technique les explications :

(N.B. le mot "axonométrie" figure dans la version utilisée du logiciel, à la place de "3D")



"ça ressemble à un Axonometrie" (S.Z.-CPPN)

"pour (fa) voir (une vue de coté) en même temps la
vue de devant vue de coté vue de dessus (F.P.-3°.86)

"dans un objet ayant des faces à angles droits, sert
à trouver les différentes vues" (D.R.-3°.87)

"colorier les faces de dessus et de côté" (E.R.-3°.87)

"Pour faire une figure en perspective" (O.S.-3°.87)

"pour voir le dessin complet" (J.S.-3°.87)



"dans un objet ayant des faces obliques, sert à
trouver les différentes vues" (D.R.-3°.87)

"colorier les faces" (E.R.-3°.87)



"pour coter un dessin" (F.P.-3°.86)

"il sert à inscrire les côtes" (O.S.-3°.86)

"pour avoir les cotes (les mesures) (E.R.-3°.87)



"on peut faire les 3 vues = vue de face dessus coté" (N.T.-CPPN)

"dessiner une fuyante d'un angle" (E.R.-3°.87)

"pour dessiner les arêtes d'un cube" (J.S.-3°.87)



"pour dessiner la perspective" (J.S.-3°.87)



"dessiner les fuyantes des angles de l'objet" (E.R.-3°.87)

Conscients du fait que les deux domaines conceptuels (géométrie et dessin technique) s'entrecoupent, surtout que par "dessin technique" nous désignons le seul champ de la géométrie du dessin technique, nous avons placé sous cette dernière rubrique les réponses des élèves faisant appel à des concepts et des pratiques que le programme de leur atelier de dessin technique inclut (vues, perspective, cotation de dessins,...).

* influence de la séquence de dessin avec Mac Paint

elle servira aux élèves comme cadre de référence, en ce qui concerne le type d'interaction et le partage de tâches possible entre élève et machine; de même, en ce qui concerne les facilités et les possibilités d'action qu'offre un tel logiciel (rappelons que les deux logiciels ont des aspects d'interaction analogues, au moins au niveau de la forme et de la présentation des informations).

Dans les réponses des élèves, on peut toucher à l'influence de la séquence de travail avec Mac Paint, de deux points de vue :

i) l'interprétation de quelques icônes analogues au niveau de la figure; ces icônes ont été interprétées par leur fonction au sein de Mac Paint. En plus, on note une évolution dans la formulation des réponses : alors qu'au début de la séquence avec Mac Paint, l'icône dont la figure représente une main (n°18 dans Mac Space) était interprétée par la majorité des élèves par le seul mot "main", on trouve :



"c'est pour pousser le (d) la feuille"	(S.Z.-CPPN)
"la main sert à faire bouger un dessin"	(M.F.-CPPN)
"main : ça déplace l'image"	(B.-CPPN)
"il sert à déplacer un objet ou un dessin"	(S.O.-3°.86)
"la main = elle sert à déplacé le dessin"	(D.K.-3°.86)
"sert a déplacer la feuille"	(B.D.-3°.86)
"sert à déplacer la page"	(D.R.-3°.87)
"deplacer la figure dans la fenêtre"	(E.R.-3°.87)
"Pour déplacer la page"	(O.S.-3°.87)
"Pour deplacer la figure sur l'écran"	(J.S.-3°.87)

De même, pour le rectangle (icône n°1), le travail avec Mac Paint a fait évoluer la seule description par "rectangle" vers une formulation du mode d'utilisation de cette icône :



"sert à faire un rectangle en donnant les deux points extrêmes"	(D.R.-3°.87)
"Pour faire un rectangle en plaçant deux point ses extrémités"	(O.S.-3°.87)

Quant au "rectangle pointillé" qui, dans Mac Paint, servait à la sélection d'une zone de la page de dessin, pour lui appliquer des fonctions (déplacement, effacement, copie, dédoublement,....) :



"sert à entourée le dessin pour le faire bouger"	(M.F.-CPPN)
"on peut déplacer le dessin"	(N.T.-CPPN)
"éloigné un bout de figure"	(F.P.-3°.86)
"il sert à couper un dessin pour le reproduire ailleurs"	(S.O.-3°.86)
"sert à déplacer un groupe défini à l'avance en diagonale"	(D.R.-3°.87)
"effacer la figure"	(E.R.-3°.87)

ii) la prise de conscience des possibilités et des facilités de manipulation de dessins, offertes par l'outil informatique; actions difficiles voire impossibles en situation de papier-crayon, la prise de conscience de, ou d'une partie de, ces possibilités n'aurait peut-être pas eu lieu sans le travail antérieur avec Mac Paint. On touche, même, dans les réponses des élèves, à des affectations inventives de certaines possibilités déjà rencontrées, à certaines icônes pour lesquelles il n'y a pas a priori d'analogies possibles dans le contexte de Mac Paint, et à plus forte raison, dans une situation de dessin classique. Donnons quelques exemples :



"ça fait des doubles droite"	(S.Z.-CPPN)
"pour faire en double le dessin"	(N.T.-CPPN)
"ça refait le même dessin"	(B.-CPPN)
"dedoubleur de figure"	(F.P.-3°.86)
"Dedouble la figure latéralement"	(D.R.-3°.87)
"Pour faire déplacer une figure géométrique"	(O.S.-3°.87)



"sert à faire tourner une figure ayant un axe de symétrie vertical autour de celui-ci"	(D.R.-3°.87)
"pour faire tourner un objet"	(O.S.-3°.87)



"sert a agrandir la surface de l'icône"

(icône dans le sens de figure)

(B.D.-3°.86)

"Pour changer les dimensions des côtés"

(O.S.-3°.87)



"c'est pour raccourcir le dessin pour le - et le +
pour les rallonger"

(S.Z.-CPPN)

"sert à épaissir et à raptisser les (tr) lignes"

(M.F.-CPPN)



"Eliminer une figure complète"

(O.S.-3°.87)



"c'est pour doubler les droites"

(S.Z.-CPPN)

"sert à agrandire (l') un angle"

(M.F.-CPPN)

"ça aide à boucher les trous"

(B.-CPPN)

"deplacer une figure pour la replacer ailleurs"

(F.P.-3°.86)

"deplacement d'objet, il sert à le déplacer sans
garder la copie"

(E.R.-3°.87)

"Déplacer une figure et l'effacer"

(O.S.-3°.87)



"c'est pour agrandire le dessin en suivant la flèche"

(S.Z.-CPPN)

"sert à agrandire (l') un angle"

(M.F.-CPPN)

"on peut faire les 3 vues = vue de face dessus coté"

(N.T.-CPPN)

"Déplacer un point en diagonale"

(D.R.-3°.87)

"dessiner une fuyante d'un angle"

(E.R.-3°.87)

"changer les coordonnées d'un point d'un rectangle"

(O.S.-3°.87)

"pour dessiner les arêtes d'un cube"

(J.S.-3°.87)



"deplacé une ligne en diagonale"

(D.R.-3°.87)

"deplaces une droite"

(E.R.-3°.87)

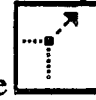
"Pour déplacer un côté du rectangle"

(O.S.-3°.87)

"pour dessiner la perspective"

(J.S.-3°.87)

En notant l'existence d'autres exemples, révélant la projection des possibilités rencontrées avec Mac Paint sur l'interprétation des icônes de Mac Space, remarquons la



grande diversité d'interprétations accordées par les élèves à l'icône, dont ils n'ont pas rencontré la figure auparavant. Cette diversité provient de la diversité des registres de référence (géométrie, dessin technique, pratiques de dessin), de la diversité des représentations qu'évoque chez eux cette figure, des exigences possibles d'une tâche de dessin qu'ils imaginent, et de la diversité des facilités de dessin offertes par l'outil.

b) les signes considérés comme pertinents, et les relations repérées dans les représentations iconiques.

L'information présentée à l'utilisateur à travers les représentations iconiques est complexe, car composée d'un ensemble de signes et de symboles, voulant désigner des objets, des propriétés et des relations; le problème est que, parmi ces propriétés ou relations représentées, il y en a qui ne sont pas pertinentes, mais qui ne peuvent qu'intervenir dans la



représentation : le polygone représenté par la figure de l'icône (représentant l'outil de création d'un polygone quelconque) possède des propriétés qui ne sont pas nécessairement celles des polygones qu'elle aide à construire :

- * il est convexe,
- * il possède des angles droits
- * les angles non droits sont tous obtus
- * il possède 7 côtés

Un des problèmes qui se posent au cours de la construction d'une représentation fonctionnelle du logiciel est celui de l'interprétation de la fonction et du fonctionnement des différents outils, à travers la pertinence des signes particuliers intervenant dans leur représentation iconique. Les exemples suivants nous montreront la grande diversité d'interprétations possibles des signes particuliers, ceci dans le cas où ils sont considérés par les élèves comme des signes pertinents.



(les deux points, sommets opposés)

"Dessine des carrés et des rectangles de différentes dimensions"

(S.Z.-CPPN)

"sert à voir si le rectangle est d'équerre"

(M.F.-CPPN)

"sert à faire un rectangle en donnant les deux points extrêmes" (D.R.-3°.87)

"Pour savoir les diagonales" (E.R.-3°.87)



(absence de signe spécial et abondance des propriétés)

"ça dessine des droite" (S.Z.-CPPN)

"pour faire apparètre l'icône" (N.T.-CPPN)

"faire une forme" (F.P.-3°.86)

"sert à dessiner l'icône sur le cadre" (B.D.-3°.86)

"dessiner un objet" (E.R.-3°.87)

"Pour dessiner une figure géométrique" (O.S.-3°.87)



(la flèche, la double-figure)



"ça fait des doubles droite" (S.Z.-CPPN)

"sert a reproduire cet icône" (B.D.-3°.86)

"deplacement l'objet" (E.R.-3°.87)

"Pour faire déplacer une figure géométrique" (O.S.-3°.87)



Notons l'utilisation, dans  et , de la même formule désignant la signification de la figure : droite, icône, objet, figure géométrique.



(les flèches doubles, le fait que la surface est peinte par un motif)

"c'est pour dessiner des (fig) droites de diferente dimension" (S.Z.-CPPN)

"il sert à inscrire les côtes" (S.O.-3°.86)

"sert à agrandir la surface de l'icône" (B.D.-3°.86)

"Pour changer les dimensions des côtés" (O.S.-3°.87)



"c'est pour raccourcire le dessin pour le - et le + pour le ralonger" (S.Z.-CPPN)

"sert à épaissir et à raptisser les (tr) lignes" (M.F.-CPPN)

"Pour définir la place d'un objet dans l'écran" (D.R.-3°.87)

"il s'utilise avec le 8" (O.S.-3°.87)



(la croix par-dessus la figure du polygone)

"pour supprimer les droites"	(S.Z.-CPPN)
"effacer forme"	(F.P.-3°.86)
"sert a annuler le dessin"	(B.D.-3°.86)
"sert à trouver le milieu de la figure"	(D.R.-3°.87)
"Eliminer une figure complète"	(O.S.-3°.87)
"Pour effacer"	(J.S.-3°.87)

L'interprétation faite par D.R. est intéressante, au niveau de la difficulté d'interprétation des signes d'élimination. En effet, ces signes, voulant exprimer une absence, doivent se manifester par une présence qui s'ajoute à la représentation iconique. C'est aussi le cas de :



(le pointillé, la flèche)

"c'est pour doubler les droites"	(S.Z.-CPPN)
"ça aide à boucher des trous"	(B.D.-3°.86)
"déplacer une figure pour la replacer ailleurs"	(F.P.-3°.86)
"Déplace la figure"	(D.R.-3°.87)
"déplacement d'objet, il sert à le déplacer sans garder la copie"	(E.R.-3°.87)
"Déplacer une figure et l'effacer"	(O.S.-3°.87)

Le déplacement étant l'explication dominante à la flèche, dans cette icône, il n'en est pas de même pour la flèche oblique de l'icône suivante, qui a exprimé, pour quelques-uns, un ajout particulier à la figure :



(flèche pointillée oblique, sommet mis en relief, angle droit)

"dessiner une fuyante d'un angle"	(E.R.-3°.87)
"changer les coordonnées du point d'un rectangle"	(O.S.-3°.87)
"pour dessiner les arêtes d'un cube"	(J.S.-3°.87)
"c'est pour agrandire le dessin en suivant la flèche"	(S.Z.-CPPN)
"sert à agrandire (l') un angle"	(M.F.-CPPN)

c) la nature des explications données par les élèves

Selon la nature et la finalité des explications données par l'élève à la fonction d'une icône graphique précise, nous pouvons, d'une part, comprendre les exigences d'une tâche qu'ils supposent ou imaginent, tâche que cette représentation iconique évoque pour lui, et d'autre part prédire la probabilité qu'a cette icône d'être sélectionnée comme outil de réalisation d'une opération élémentaire, dans le cadre d'un algorithme de résolution d'un problème.

Pour pouvoir exposer les interprétations de natures différentes, et les lier à l'analyse à venir de la séquence de travail avec Mac Space, nous les avons classées en trois catégories globales, pouvant comporter des catégories plus détaillées :

i) **Interprétation descriptive :**

Sous cette rubrique, nous classons les explications réduites à un essai de décrire figurativement la représentation iconique; souvent, cette description est réduite à un mot. Alors que cette catégorie était dominante dans l'activité parallèle correspondant à Mac Paint, elle l'est moins pour l'activité présente, et nous renvoyons ce fait à la familiarité avec le type d'interaction avec la machine, et avec les possibilités et facilités d'action et de dessin sous-jacente. Notons que cette catégorie d'interprétation purement descriptive a lieu lorsque la figure représentée par l'icône est totalement nouvelle, ou que sa fonction est très difficile à deviner.



"ça ressemble à un Axonometrie"

(S.Z.-CPPN)



"ça ressemble a un entonnoir poser debout.

ou plutot à une torche électrique"

(S.Z.-CPPN)

"axe de symétrie verticale"

(E.R.-3°.87)

"verticale"

(J.S.-3°.87)



"ça ressemble a un entonnoir poser sur le coté"

(S.Z.-CPPN)

"axe de symétrie horizontale"

(E.R.-3°.87)

"horizontale"

(J.S.-3°.87)



"rapport avec le n°17"

(E.R.-3°.87)

"plus et moins"

(J.S.-3°.87)



"angle"

(J.S.-3°.87)



"règle"

(N.T.-CPPN)



"rapport avec le n°9"

(E.R.-3°.87)

ii) Interprétation fonctionnelle

Sous cette rubrique, nous classons les explications qui ont dépassé le niveau de la description statique d'un objet représenté par l'icône, pour atteindre un niveau caractérisé par plus de dynamisme et plus de finalisation. L'importance de telles explications est dans le fait qu'elles révèlent la représentation que se font les élèves des tâches qu'on pourrait réaliser avec ce logiciel et des possibilités qu'il offre pour la réalisation de ces tâches. Pour les premières (la nature des tâches), nous pensons que les élèves auront un cadre de référence dans le contexte de la séquence, basé sur l'hypothèse de continuité des séances de l'atelier.



"Dessine des carrés et des rectangle de différentes dimensions"

(S.Z.-CPPN)

"sert à voire si le rectangle est d'équerre"

(M.F.-CPPN)

"pour savoir les diagonales"

(E.R.-3°.87)



"ça dessine des droite"

(S.Z.-CPPN)

"faire une forme"

(F.P.-CPPN)

"dessiner un objet"

(E.R.-3°.87)



"ça fait des doubles droite"

(S.Z.-CPPN)

"ça refait le même dessin"

(B.-CPPN)

"pour faire en double le dessin"

(N.T.-CPPN)

"il sert à reproduire le dessin"

(S.O.-3°.86)

"dedoubleur de figure" (F.P.-3°.86)

"Dedouble la figure latéralement" (D.R.-3°.87)



"pour (fa) voir (une vue de coté) en même temps la
vue de devant vue de coté vue de dessus (F.P.-3°.86)

"dans un objet ayant des faces à angles droits, sert
à trouver les différentes vues" (D.R.-3°.87)

"colorier les faces de dessus et de côté" (E.R.-3°.87)

"Pour faire une figure en perspective" (O.S.-3°.87)

"pour voir le dessin complet" (J.S.-3°.87)



"ça doit dessiner des triangles ou des piramides" (S.Z.-CPPN)

"separer un figure en deux" (F.P.-3°.86)

"colorier les faces" (E.R.-3°.87)



"pour supprimer les droites" (S.Z.-CPPN)

"sert a annuler le dessin" (B.D.-3°.86)

"effacer forme" (F.P.-3°.86)

"sert à trouver le milieu dec la figure" (D.R.-3°.87)

"rayer, effacer une figure" (E.R.-3°.87)

"Eliminer une figure complète" (O.S.-3°.87)



"Déplace la figure" (D.R.-3°.87)

"Déplacer une figure et l'effacer" (O.S.-3°.87)



"Déplacer un point en diagonale" (D.R.-3°.87)

"dessiner une fuyante d'un angle" (E.R.-3°.87)

"changer les coordonnée du point d'un rectangle" (O.S.-3°.87)



"deplacé une ligne en diagonale" (D.R.-3°.87)

"deplaces une droite" (E.R.-3°.87)



"éloigné un bord de figure"

(F.P.-3°.86)

"dessiner les fuyantes des angles de l'objet"

(E.R.-3°.87)



"effacer la figure"

(E.R.-3°.87)



"agrandir ou garder à la même dimension"

(D.R.-3°.87)



"main : ça déplace l'image"

(B.-CPPN)

"déplacer la figure dans la fenêtre"

(E.R.-3°.87)

Catégories des fonctions :

Qu'elles soient déclaratives ou fonctionnelles, les interprétations données par les élèves révèlent différentes fonctions possibles, selon la représentation qu'ils se font des exigences de la tâche de dessin avec le logiciel :

* action (création, déplacement ou transformation)



"Dessine des carrés et des rectangle de différentes dimensions"

(S.Z.-CPPN)



"ça dessine des droite"

(S.Z.-CPPN)

"faire une forme"

(F.P.-CPPN)

"dessiner un objet"

(E.R.-3°.87)



"sert à faire tourner une figure ayant un axe de symétrie vertical autour de celui-ci"

(D.R.-3°.87)

"pour faire tourner un objet"

(O.S.-3°.87)



"sert a agrandir la surface de l'icône"

(B.D.-3°.86)

"Pour changer les dimensions des côtés"

(O.S.-3°.87)



- "pour dessiner la perspective" (J.S.-3°.87)
- "déplacé une ligne en diagonale" (D.R.-3°.87)
- "déplaces une droite" (E.R.-3°.87)
- "Pour déplacer un côté du rectangle" (O.S.-3°.87)
- "pour dessiner la perspective" (J.S.-3°.87)



- "c'est pour doubler les droites" (S.Z.-CPPN)
- "sert à agrandir (l') un angle" (M.F.-CPPN)
- "déplacer une figure pour la replacer ailleurs" (F.P.-3°.86)
- "déplacement d'objet, il sert à le déplacer sans garder la copie" (E.R.-3°.87)
- "Déplacer une figure et l'effacer" (O.S.-3°.87)

* requête d'information (numérique ou graphique).



- "Pour savoir les diagonales" (E.R.-3°.87)



- "pour (fa) voir (une vue de côté) en même temps la vue de devant vue de côté vue de dessus" (F.P.-3°.86)
- "dans un objet ayant des faces à angles droits, sert à trouver les différentes vues" (D.R.-3°.87)
- "pour voir le dessin complet" (J.S.-3°.87)



- "dans un objet ayant des faces obliques, sert à trouver les différentes vues" (D.R.-3°.87)



- "pour coter un dessin" (F.P.-3°.86)
- "il sert à inscrire les côtes" (S.O.-3°.86)
- "pour avoir les cotes (les mesures)" (E.R.-3°.87)



- "sert à trouver le milieu de la figure" (D.R.-3°.87)

iii) interprétation touchant au fonctionnement

Dans les réponses des élèves, nous avons noté un fait que nous considérons important dans une évaluation ultérieure de leurs acquis à propos du mode de fonctionnement du logiciel, en particulier le fonctionnement de quelques procédures particulières : malgré la demande manifeste dans la question (et comment peut-on s'en servir ?), les seules mentions correspondant à une règle de fonctionnement ou d'utilisation sont :



- "sert à faire un rectangle en donnant les deux points extrêmes" (D.R.-3°.87)
- "Pour faire un rectangle en plaçant deux point ses extrémités" (O.S.-3°.87)

Ce fait est significatif à plusieurs niveaux :

* il ne touche qu'une procédure déjà utilisée au sein de Mac Paint, donc pour laquelle les élèves peuvent supposer un mode de fonctionnement analogue;

* il révèle une certaine hiérarchie, un ordre d'apparition dans les niveaux de détection et d'interprétation des informations dans une représentation iconique : objet, fonction, fonctionnement (ex. "rectangle", "dessine un rectangle", "sert à dessiner un rectangle en donnant ses deux sommets"). Ce dernier niveau est caractérisé par un haut degré d'abstraction, car il est lié aux propriétés analytiques de l'objet à construire. Par exemple, pour la construction du polygone qui se réalise par la validation de ses sommets, la formulation d'un tel mode de fonctionnement exige :

- une prise de conscience de l'existence des sommets comme points particuliers de la configuration qui peuvent être isolés et avoir un statut indépendant de la frontière du polygone en question,

- une prise de conscience que pour définir un polygone, il faut et il suffit de déterminer ses sommets.

* il révèle l'ampleur de l'écart qui existe entre l'action et la formulation : au moins pour la procédure "Rectangle", on peut assurer que tous les élèves sauront l'utiliser convenablement s'ils sont confrontés directement à une situation qui l'exige. Pourtant, deux binômes seulement ont su (ou pensé à) formuler la méthode à suivre pour ce faire.

Enfin, nous terminons l'analyse de cette activité en précisant que les réponses obtenues peuvent faire l'objet d'une étude plus approfondies qui peut se fixer des objectifs en soi, non seulement comme étude exploratrice : extériorisation des conceptions initiales des élèves à propos des tâches de dessin possibles, familiarisation et réflexion sur les icônes et leur signification (cf. objectifs, IV.3.1). On peut exploiter ces réponses dans une étude qui se fixerait comme objectif l'étude des conceptions des élèves concernant des notions géométriques, informatiques ou de dessin technique.... étude que nous ne ferons pas ici, car elle dévierait nos objectifs, mais nous laissons cette piste ouverte pour des études ultérieures.

IV.4. Analyse d'une activité semi-guidée :

En relation avec les questions posées au début de cette partie, autour des informations et des connaissances élémentaires minimales du fonctionnement de la machine dont doit disposer l'utilisateur, nous présentons, dans ce paragraphe, l'activité proposée aux élèves. Nous la nommerons "semi-guidée", car :

* elle guide les élèves vers des applications particulières, aux moments où le système attend une action libre décidée par l'utilisateur (état que nous avons appelé "état initial" dans les schémas représentant le mode de fonctionnement des procédures graphiques (cf. § III),

* elle ne leur donne pas (ou donne peu) d'indications aux moments où le système est en état d'attente d'une action à choix limités, réponse à une requête d'informations de la part de la machine; dans ce cas, les élèves doivent prendre des décisions, à partir des représentations symboliques qu'ils rencontrent, et de la représentation qu'ils se font de la fonction de la procédure activée.

IV.4.1. Objectifs

Deux objectifs se situent derrière cette phase :

a) un objectif de recherche, en vue d'explorer les représentations initiales des élèves, à propos du mode de fonctionnement du logiciel.

b) un objectif d'enseignement et de formation, en vue de la préparation à la suite de la séquence et la familiarisation au type d'interaction particulier au logiciel,

a) objectif de recherche :

Par l'analyse de l'action des élèves, et de leur formulation de chacune des sessions, surtout aux moments où ils ne sont guidés que par les requêtes de la machine, nous essayerons de dégager des aspects de leur représentation de la fonction et du fonctionnement des procédures proposées, à travers :

- * leur prise de conscience du partage et du séquençement des opérations élémentaires entre eux et l'ordinateur,

- * la nature des informations recueillies et formulées, parmi les effets et modifications qui figurent à l'écran.

b) objectif d'enseignement :

Délimitons le cadre théorique des choix que nous avons faits pour construire cette activité : Notre objectif était de communiquer aux élèves quelques connaissances indispensables à un début d'utilisation du logiciel en question, pour la réalisation des tâches en question. Le problème était donc de trouver, dans la structure complexe et enchevêtrée de Mac Space, les informations qu'il fallait communiquer aux élèves, et le moyen de le faire, pour :

- * d'une part ne pas détruire cette structure de concepts et de relations entre ces concepts,

- * et d'autre part garder en vue l'objectif visant à étudier les conceptions initiales des élèves à propos du fonctionnement du logiciel et l'évolution de ces conceptions, en fonction des exigences des tâches à venir.

Pour répondre à ces exigences, nous nous sommes tournée vers les propositions faites par les études traitant des systèmes de formation Homme-machine; des résultats de ces études ont mis en évidence deux modes de présentation des informations : "l'un met l'accent sur le fonctionnement du dispositif, [...] L'autre indique comment utiliser le système pour obtenir un résultat donné" (Richard 1983, p.3). D'après J.F.Richard, ces deux modes se réfèrent à deux logiques très distinctes (la logique d'exposition et la logique d'utilisation), utilisant deux langages différents : le langage du fonctionnement et le langage de l'utilisation. Dans le premier, "représentation sous forme déclarative, on a des items de connaissance, les concepts, et des relations entre ces items, qui servent à les définir les uns par rapport aux autres" (ibid., p.5); le deuxième se rapporte aux cas où la connaissance est davantage "exprimée sous forme de procédures que sous forme de relations entre les éléments qui en expriment la structure." (ibid., P.5). Les relations entre ces deux modes sont rattachées à celles entre les structures et leur application à un contenu particulier, et à la distinction entre analyse structurale et analyse procédurale.

Parmi ces deux logiques d'exposition, nous avons choisi, pour la phase d'initiation minimale à l'utilisation de Mac Space, d'adopter la logique de fonctionnement, dans le sens que l'activité des élèves ne consistera pas à résoudre un problème en vue d'aboutir à un but précis, mais à observer et formuler des effets et des séquences de dialogue avec la machine, déclenchées par l'activation de fonctions particulières proposées. La découverte, la construction et la mise en oeuvre de la logique d'utilisation du logiciel feront partie intégrante de l'activité ultérieure des élèves, au cours de la réalisation des tâches adéquatement choisies. Au cours de cette activité ultérieure, la prise de conscience, plus ou moins élaborée, des effets des procédures activées au cours de la phase présente, aura le statut de point d'appui ou, comme l'ont dit Bisseret et Enard (1970, p.646), "le statut de médiateur" pour la construction de la logique d'utilisation.

Le choix des unités élémentaires à activer dans cette phase d'initiation est basé sur deux critères :

* elles recouvrent les opérations élémentaires des stratégies à réaliser pour la résolution des problèmes ultérieurs, que ce soit au niveau de l'action et la création graphique (icônes "rectangle" et "prisme"), ou au niveau du test et de la validation (icône "cotation"). Dans le sous-domaine du micro-monde Mac Space où se déroule notre séquence, ce choix répond en partie à la condition vue par J.F.Richard : "La logique de construction (comme la logique de fonctionnement dans le cas d'un appareil) est une représentation de la connaissance qui contient (en ce sens qu'elle permet de les dériver) toutes les informations nécessaires à l'ensemble des utilisations potentielles." (Richard, p.27).

Nous disons que ce choix y répond "en partie", à cause de notre intention, pour quelques commandes et unités du logiciel, de ne les aborder que lorsqu'ils se présenteront comme une solution à un problème particulier, qui leur accordera la signification et leur donnera du sens dans l'édifice des connaissances des élèves. C'est le cas, par exemple, de la commande "3° coordonnée" (cf. § II du chap.VI).

* elles donnent des exemples assez variés de types d'opérations élémentaires impliquées par le mode de fonctionnement du logiciel : construction graphique élémentaire ("Rectangle"), construction graphique globale ("Prisme"), séquences de dialogue où la machine affiche des requêtes d'informations ("Hauteur" dans "Prisme"), sous-séquence de sélection d'un objet géométrique (la facette de base dans "Prisme" et la facette dont on veut calculer les dimensions dans "Cotations").

IV.4.2. Analyse des réponses des élèves :

(pour le texte conforme aux réponses des élèves, cf. l'annexe)

Dans l'analyse suivante, nous classerons les informations recueillies par les élèves au cours du déroulement d'une procédure donnée en trois classes, selon le degré de prise de conscience de ces informations. Cette catégorisation nous guidera, dans la suite pour :

- * mieux connaître les effets les plus reconnaissables par les élèves comme pertinents au déroulement de la procédure, ce qui nous aidera à justifier et expliquer leurs choix ultérieurs pour la résolution d'un problème précis,

- * étudier l'évolution des priorités que les élèves accordent aux unités informationnelles composant chacune de ces procédures.

1-Sélectionne l'icône "rectangle" (icône n°1); utilise-la sur la vue de dessus sélectionnée. Raconte ce qui s'est passé et ce que tu as remarqué

L'icône "rectangle" sert à construire, dans une des fenêtres de traitement, un rectangle parallèle au plan directeur de cette fenêtre, à partir de la validation de deux sommets opposés (fig.III.40). En même temps que le graphisme accompagne le déplacement du curseur, les trois autres vues du rectangle (dont sa vue en perspective) se produisent dans les autres fenêtres. Au cours de l'action, le déplacement du curseur est accompagné de l'affichage dynamique des coordonnées du point courant qu'il représente (fig.III.39).

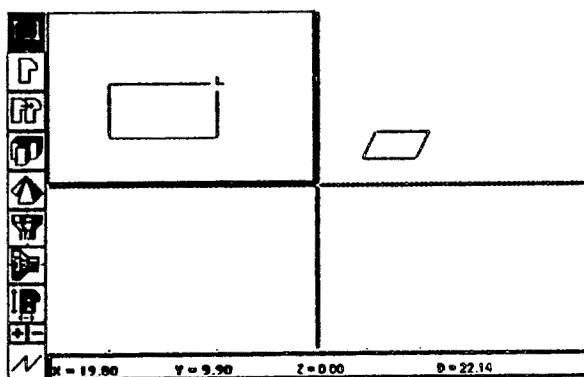


fig.III.39

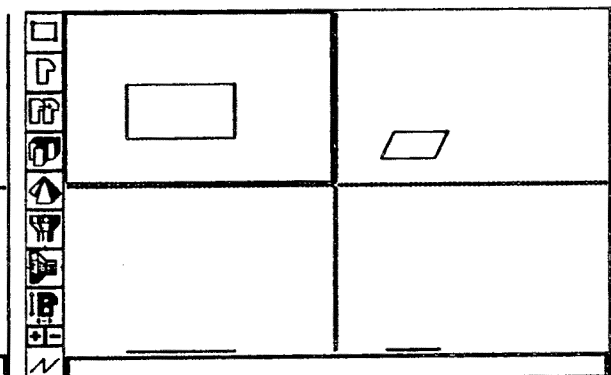


fig.III.40

Pour le séquençage des opérations élémentaires que comporte cette procédure, regarder le schéma III.5 (§ III).

Commentaires :

(pour le texte conforme aux réponses des élèves, cf. l'annexe)

Effet majeur : le résultat graphique

La plupart des réponses constatent le résultat graphique de la fonction en question, et la construction simultanée dans les autres fenêtres, quelques-unes y ajoutent une description des formes produites dans les différentes fenêtres (S.Z.; F.P.; D.K.; B.D.; D.R.; E.R.; O.S.; J.S.). Pourtant, toutes ces réponses n'expriment pas explicitement de lien entre le rectangle dessiné et les dessins qui apparaissent dans les autres fenêtres (ex. B.D.; D.K.; O.S.), alors que d'autres arrivent jusqu'à l'identification de ces quatre dessins (ex. F.P.; E.R.)

Peu remarqués : l'affichage et la modification des coordonnées

Trois réponses seulement ont remarqué explicitement l'affichage de nombres variables, au cours de l'utilisation de la procédure en question; deux de ces réponses ont fait le lien entre la modification de ces nombres, le mouvement du curseur et les dimensions du rectangle (B.D.; E.R.), la troisième ayant simplement constaté le "défilement" (O.S.)

Très peu dégagée : la définition du rectangle par deux sommets opposés

Seulement deux réponses ont mis en évidence le fait que la construction du rectangle se fait suite à la validation par l'utilisateur de deux points; pourtant, ces deux réponses ne définissent pas le statut des deux points par rapport au rectangle construit. La première (M.F.) relève totalement de l'action manipulative de l'utilisateur, tandis que la deuxième (D.R.) explicite clairement le partage des rôles, au cours de la production graphique, entre l'utilisateur et l'ordinateur. Une telle réponse se distingue par un recul par rapport à l'action graphique de dessin, pour s'orienter vers une conception plus analytique de la construction du rectangle, en dégageant et isolant de leur contexte les deux points à définir par l'utilisateur. D'autre part, l'explicitation du partage des rôles exprime une prise de conscience que le graphisme progressif lié au déplacement du curseur est une action conjointe de l'ordinateur et de l'utilisateur. Au contraire, les autres réponses considèrent plutôt l'action graphique progressive comme l'œuvre de l'utilisateur : "nous avons dessiner un carré, J'ai dessiné un rectangle , lorsque on ecrit une forme, etc..."

2- Sélectionne l'icône "cotation" (icône n°8). Réalise ce que demande l'ordinateur; note, sur cette feuille, les résultats que tu as obtenus (en un deuxième temps) as-tu compris la fonction de cette icône ? explique à quoi elle sert et comment peut-on s'en servir ?

La fonction "Cotation" affiche les dimensions d'une facette (fig.III.43), sélectionnée par l'utilisateur au sein d'une sous-séquence de sélection proposée par l'ordinateur (fig.III.41,III.42).

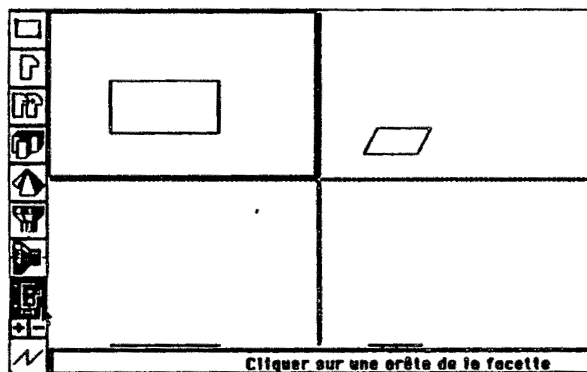


fig.III.41

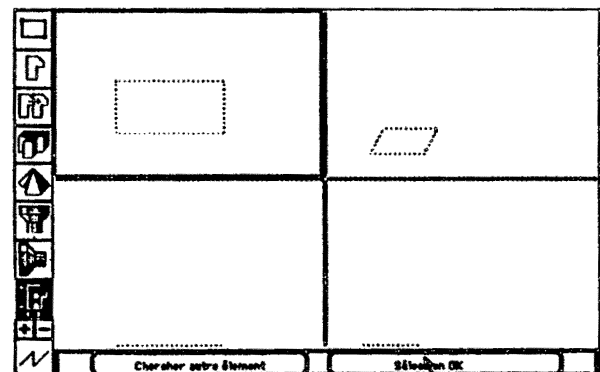


fig.III.42

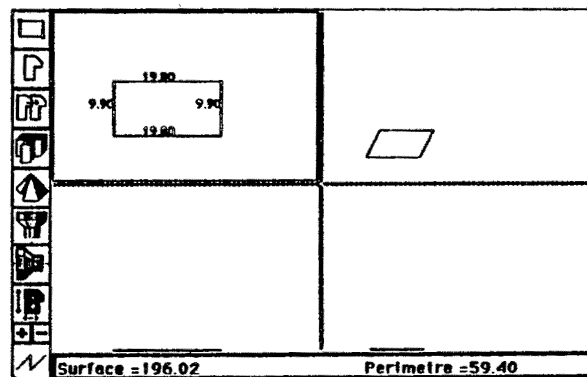


fig.III.43

Pour le format et le langage des messages échangés, et pour le séquençage des opérations élémentaires que comporte cette procédure, regarder les schémas III.6 et III.7 (§ III).

Commentaires :**Effet majeur : l'affichage numérique**

La plupart des réponses obtenues ont noté les résultats numériques de la procédure "Cotation", et explicité leur statut comme dimensions et caractéristiques numériques (surface, périmètre) du rectangle préconstruit. Notons que, vu la disposition hétérogène de ces informations, les caractéristiques numériques "surface" et "périmètre" ont été moins notées que les dimensions, ces dernières étant plus proches du dessin obtenu. En réponse à la deuxième partie de la question, la fonction de la procédure a été exprimée de manières différentes comme "donnant les cotes, le périmètre et la surface du rectangle".

Peu explicité : le fonctionnement

Les réponses ayant dépassé le constat des résultats numériques de la procédure en question se sont restreintes, pour le reste, à une description d'une partie du déroulement de la procédure.

En ce qui concerne la sous-séquence de sélection de la facette (cf. schéma III.8, § III), aucune des réponses ne l'exprime sous forme d'échange ou de dialogue entre l'utilisateur et l'ordinateur (alternance de messages et actions); quelques-unes dressent une liste des actions effectuées par l'élève pour faire progresser la procédure (M.F.; B.; F.P.; O.S.), d'autres dressent la liste des messages envoyés par l'ordinateur (D.R.; J.S.). Les réponses de la première catégorie ne donnent pas d'explication à ces actions ni aux choix qui leur ont donné lieu; les réponses de la deuxième catégorie ne donnent pas d'interprétation aux messages.

Enfin, nous nous attarderons sur une réponse significative d'un problème résultant :

- de l'ambiguïté du message à deux choix possibles : "chercher autre élément" et "sélection OK" (fig.III.42);
- du fait que les élèves ignorent a priori la fonction de la procédure en question et le but de leur manipulation;
- de l'inutilité de ce message dans le cas présent, où une seule facette a été construite.

Cette réponse est celle de (E.R.) : "il cherche un autre élément". Par cette phrase, ce binôme a exprimé ce qu'il croit être la fonction de la procédure sélectionnée. En fait, après avoir cliqué sur une arête du rectangle, les élèves ont sélectionné l'option "chercher autre élément". Comme ils ont vu qu'il n'y a aucun effet à l'écran (la mise en pointillés est souvent inaperçue), ils ont répété la même action plusieurs fois; finalement, et puisque le temps de réponse devenait trop long, ils ont décidé que la séquence déclenchée par la procédure était terminée "là, ça va; il cherche... il cherche un autre élément". Rappelons que, dans l'activité

précédente, leur interprétation de l'icône n°8 était : "pour avoir les cotes (les mesures)". Cette interprétation a été déstabilisée par le phénomène observé par les élèves suite à leur entrée dans la boucle "chercher autre élément; mise en pointillés" (schéma III.8, § III).

D'après les observations des différents binômes, ce phénomène de boucle s'est produit, pendant un moment moins long, pour la plupart des élèves, mais le choix de l'option "sélection OK" permettait d'en sortir. Nous pensons que ce choix n'a jamais eu la signification d'un message adressé par l'élève à l'ordinateur pour confirmer la sélection de la facette, il a été, pour tous, le moyen de faire avancer la procédure, et aboutir au résultat numérique attendu.

Dans la suite de la séquence, la construction de la signification de ce message à double-option posera problème, surtout dans les cas où les vues de plusieurs composants de la configuration préconstruite se superposent dans une des fenêtres de traitement.

3- Sélectionne l'icône "prisme" (icône n°4). Réalise ce que demande l'ordinateur, donne la hauteur. Explique ce qui s'est passé.

La fonction "Prisme" construit, à partir d'une base désignée par l'utilisateur dans une sous-séquence de sélection (fig.III.44 à 46), une surface prismatique fermée (fig.III.48); la hauteur est communiquée par l'utilisateur à travers une fenêtre de requête d'information (fig.III.47).

Pour le format et le langage des messages échangés, et pour le séquençement des opérations élémentaires que comporte cette procédure, regarder les schémas III.6 et III.8 (§ III).

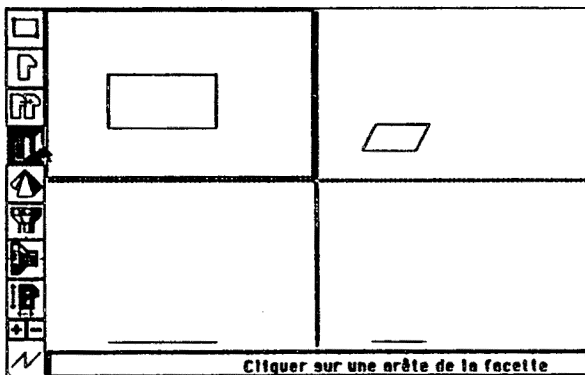


fig.III.44

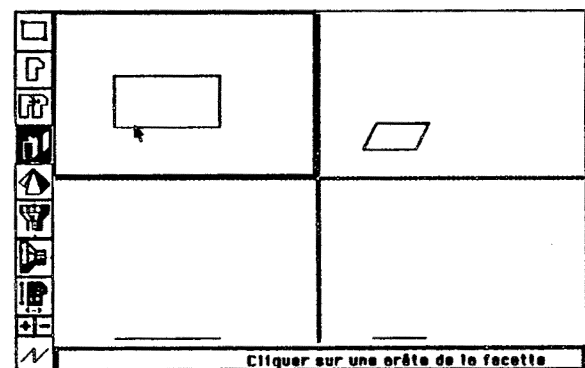


fig.III.45

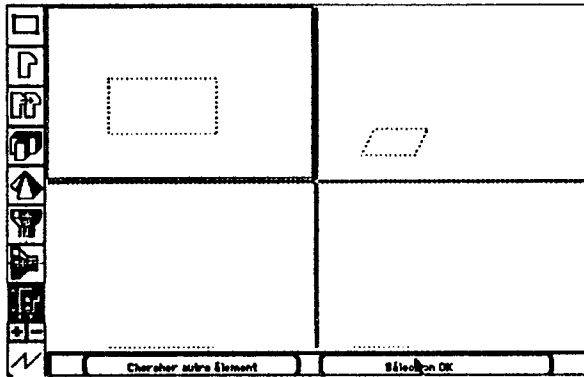


fig.III.46

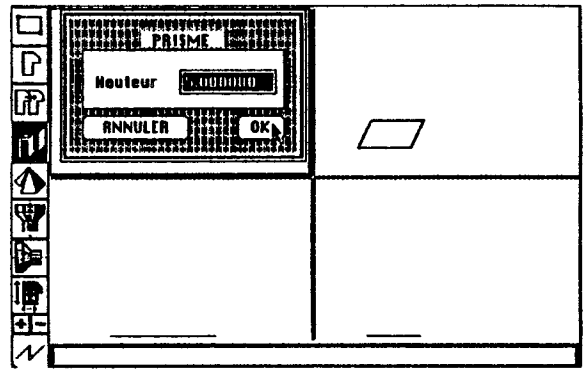


fig.III.47

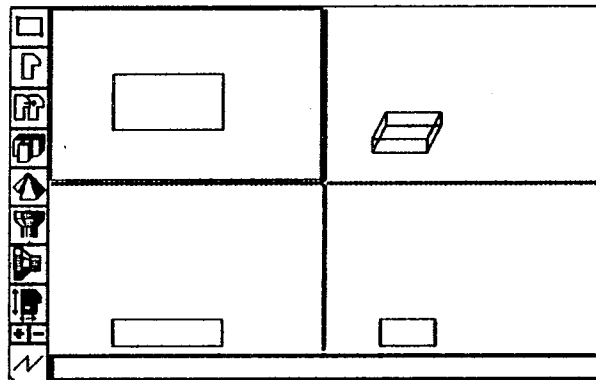


fig.III.48

Effet majeur : le résultat graphique

Le constat du résultat graphique de la procédure proposée reste la réponse de la machine la plus remarquée. Pour quelques-uns, ce constat s'est limité à souligner le graphisme produit dans la fenêtre de la vue en 3D (S.Z.; M.F.; O.S.); pour d'autres, la réponse constate, en plus, les modifications produites dans les autres fenêtres (B.; S.O.); et d'autres y ajoutent une description de ces modifications (N.T.; F.P.; D.K.; B.D.).

Peu explicité : le fonctionnement

Comme pour la fonction précédente, le fonctionnement et l'échange entre l'élève et l'ordinateur sont relativement peu explicités. Quelques-unes des réponses des élèves soulignent les, ou une partie des actions à accomplir par l'utilisateur pour aboutir au résultat (M.F.; B.), d'autres donnent une liste des messages envoyés par l'ordinateur (D.R.; E.R.). Ces réponses, restreintes au rôle de l'un des deux protagonistes, ne rendent pas compte du partage des tâches élémentaires entre ces deux protagonistes; Elles ne rendent pas compte, non plus, de l'échange de significations, à travers ce partage, entre l'utilisateur et l'ordinateur.

En ce qui concerne la sous-séquence de sélection de la facette, les formulations n'ont indiqué aucune évolution dans la construction du sens des messages échangés, probablement pour les mêmes raisons citées ci-dessus, pour la question précédente. On peut seulement noter le fait que le binôme E.R. dont il a été question dans la discussion de la question précédente a pu dépasser la boucle (chercher autre élément, mise en pointillés) et aboutir à la fin de la procédure présente.

Par contre, en ce qui concerne la fenêtre de requête d'information "Hauteur", nous avons repéré deux réponses (F.P.; D.K.) qui révèlent une certaine prise de conscience d'un échange de significations à travers l'alternance des informations affichées par la machine et des actions accomplies par l'utilisateur. Contrairement aux réponses des autres binômes qui ont interprété cette fenêtre comme l'annonce d'un fait accompli ("la hauteur est de 5", "un tableau a une hauteur 5.00000", "s'affiche une hauteur"), ces deux réponses rendent compte que c'est une proposition à l'utilisateur, qui peut l'accepter ou la refuser, à l'aide de l'une des deux options "OK" ou "Annuler" (cette dernière annule, en fait, la commande) ("on me donne une hauteur je peux accorde la hauteur ou annuler"; il nous a donné la hauteur, on lui a dit que l'on été d'accord pour le chiffre 5"). Certes, et bien que la consigne propose explicitement de "donner une hauteur", une telle interprétation ne rend pas compte de la possibilité de modifier la valeur du paramètre "Hauteur", probablement parce que l'activité n'en impose aucune; en tous cas, ces deux réponses marquent un pas vers la construction du sens de l'échange entre l'élève et l'ordinateur.

4- Calcule les dimensions de toutes les formes que tu as dans les différentes fenêtres, et note-les ci-après :

Dans la liste d'activités proposées aux élèves, c'est la première qui ne propose pas une procédure à activer, mais un problème à résoudre; c'est aux élèves de trouver, à partir du but à atteindre et des faits qu'ils ont observés dans la phase précédente, la procédure à utiliser et le moyen de le faire. C'est un premier pas vers la construction d'une logique d'utilisation de la fonction impliquée, à partir de la logique de fonctionnement observée.

Tous les binômes ont pu repérer que la solution de ce problème de calcul réside dans l'utilisation de l'icône dont ils savent, d'après l'activité n°2, qu'elle aboutit à l'affichage des caractéristiques numériques de la facette sélectionnée. C'est même le cas du binôme (E.R.) dont la manipulation (n°2) n'a pas abouti à sa fin. Nous pensons que, malgré ce fait, et compte tenu du but à atteindre, l'icône "Cotation" semble être la plus adaptée, surtout que la première interprétation que ce binôme en a donnée a été : "pour avoir les cotes (les mesures)". Pourtant, l'aboutissement de cette fonction au résultat attendu n'a pas amené le

binôme à un retour sur sa réponse à la question n°2, ou à une remise en question du fonctionnement de la même fonction, dans un cadre différent : le cadre de construction du sens de cette unité opératoire (Bisseret); ceci confirme l'hypothèse, tant rappelée par Bisseret & Enard (1970) et Richard (1983), de la non-équivalence entre la logique de fonctionnement et la logique d'utilisation des unités du système.

Comme les résultats de l'activité "Icônes", ceux de cette activité nous serviront de point d'appui pour expliquer des choix et des procédures des élèves au cours des séquences suivantes de résolution de problème. De même, ils nous procurent des informations à propos des conceptions des élèves concernant le champ conceptuel (Vergnaud 1981, p.217) impliqué par le contenu géométrique du micromonde Mac Space, et à propos de l'aspect outil de ce dernier et de son mode de fonctionnement. Ces informations concernent un état initial des représentations des élèves, par rapport auquel sera mesurée son évolution.

Précisons que les deux activités précédentes n'ont pas donné lieu, ni à une correction, ni à une intervention évaluative par le maître. En effet, c'est un choix lié aux objectifs déjà annoncés : en aucun cas, nous n'avons voulu influencer l'évolution de l'apprentissage des élèves par des interventions du maître, qui pourraient avoir un statut d'indications, de pratiques établies ou de connaissance toute faite.

Avec cette activité, se termine la phase d'initiation et de familiarisation à l'utilisation de Mac Space. Dans la suite, nous analyserons les situations-problèmes où les élèves étaient confrontés à la résolution de problèmes avec ce logiciel. Précisons que nous avons fait, dans cette partie, une analyse assez sommaire de l'activité des élèves, et analysé et catégorisé les réponses des douze binômes ayant suivi la séquence d'enseignement. Pour la suite, par contre, et pour pouvoir mener une analyse clinique et plus approfondie des interactions entre les élèves et leur milieu (dont l'ordinateur est un facteur important), nous nous limiterons à l'analyse de l'activité de trois binômes, que nous avons choisis selon deux critères :

* ils ont suivi le dernier atelier (année 1987), pour lequel la séquence d'enseignement a été revue, enrichie et mieux contrôlée pour donner le plus d'informations fiables, le long des situations-problèmes; ceci, en se basant sur des analyses des résultats obtenus suite aux deux expérimentations menées au cours de l'année 1986, dans les deux classes (CPPN et 3°).

* l'étude préliminaire de leurs productions a révélé une diversité des procédures et stratégies utilisées, permettant de couvrir un grand éventail des procédures possibles ou effectivement utilisées par les autres élèves.

Chapitre IV

Construction d'un pavé droit avec Mac Space Résolution d'un premier problème impliquant le système de coordonnées

I. Une stratégie d'analyse de la séquence avec le logiciel Mac Space :

Dans ce paragraphe, nous déterminons le cadre théorique dans lequel se situe notre analyse, non seulement de la situation "Pavé", mais aussi de toute la séquence de résolution de problèmes avec Mac Space.

Comme il a déjà été dit dans la chronique de la séquence d'enseignement, notre but, dans cette partie, est de mettre les élèves dans une situation d'interaction avec un système de référence sous-jacent au logiciel utilisé; la réalisation des tâches doit nécessairement passer par une construction mentale progressive de ce système. Pour ce faire, une structuration progressive de l'espace de Mac Space devra être accomplie.

La séquence de travail avec Mac Space présente une différence fondamentale avec celle de Mac Paint, c'est que :

- d'une part, la résolution des problèmes posés doit s'effectuer au niveau du mode de fonctionnement du logiciel, ce dernier devant être intégré dans la représentation des données et de leurs relations;

- d'autre part, et compte tenu de la représentation conceptuelle de Mac Space, la réalisation de représentations graphiques d'objets spatiaux ne peut se restreindre à un niveau figuratif; elle doit dépasser les relations entre les composants du dessin, pour intégrer des relations spatiales entre les composants de l'objet : elle doit donc se faire au niveau opératif.

Quant à la stratégie d'analyse que nous adopterons, elle sera basée sur la méthodologie fondée et développée dans le domaine de la didactique : elle comportera une analyse a priori de la tâche et des différentes stratégies de résolution possibles; à cette analyse, seront confrontées les réalisations effectives des élèves et leur activité

intellectuelle. En interaction avec ce cadre théorique, l'implication de l'outil informatique, avec ses contraintes et son mode de fonctionnement, nous amène à intégrer des outils d'analyse développés dans le cadre de l'ergonomie cognitive et de l'analyse du travail.

Montmollin, dans son récent ouvrage "l'intelligence de la tâche", se réfère aux "meilleurs spécialistes" pour déclarer que "La tâche indique ce qui est à *faire*, l'activité ce qui *se fait*. La notion de tâche véhicule avec elle l'idée de prescription, sinon d'obligation. La notion d'activité renvoie, elle, à ce qui est mis en jeu par le sujet pour exécuter ces prescriptions, pour remplir ces obligations". (ibid., p.18) Les notions "tâche" et "activité" sont définies, dans ce cadre, avec une distinction tranchée, peut-être à cause des impératifs de l'outil; néanmoins, il y a une prise de conscience, comme en didactique, que "le couple tâche / activité constitue moins une opposition qu'une association indissoluble." (Montmollin 1986, p.19)

Cette distinction présente un parallélisme étroit avec celle que font les études en didactique entre l'analyse a priori d'une situation et le fonctionnement effectif de cette situation. Nous pensons, néanmoins, qu'elle est davantage spécifique à la relation de l'apprenant à un dispositif, une "machine" qui se manifeste par des réponses spécifiques, dont l'utilisation dans une situation de résolution de problème exige certaines performances et connaissances, imposant des procédures qui soient adaptées à son mode de fonctionnement.

Pour notre recherche, nous adopterons cette distinction, en représentant par des séquences de schémas les stratégies possibles de réalisation de la tâche d'un côté, et celles utilisées au cours de l'activité de chacun des binômes, de l'autre côté. Les premiers joueront le rôle de critères d'analyse pour les seconds. La confrontation de ces schémas nous permettra de dégager, ou de déduire, les conduites intelligentes des élèves et leur évolution.

Cette confrontation se fera à plusieurs niveaux, définis par les conditions dans lesquelles doit se réaliser le but, et que Montmollin (ibid., 146) a classées en trois catégories : les états à parcourir pour atteindre le but, les opérations admissibles pour parcourir un état, les procédures ou combinaisons de ces opérations.

Au niveau de tout élément de ces trois catégories, les "tâches effectives" peuvent se diversifier par rapport à la tâche prévue, selon le degré de liberté de pilotage que possède l'utilisateur à ce niveau.

Nos schémas comporteront donc, dans leur séquençement, les éléments de ces trois classes :

i) les états du système à l'extrémité (début ou fin) de chaque procédure ou séquence de dialogue avec la machine; à part les états intermédiaires numérotés, deux états particuliers y figureront :

* "l'état initial" qui désignera, cette fois, l'état du système suite à la demande d'un nouveau fichier; implicitement et sauf indication contraire, cet état suppose que la fenêtre de traitement sélectionnée est celle de la vue de dessus;

* "l'état final" qui, théoriquement, doit représenter le but de la tâche.

ii) les opérations élémentaires, "plus petites unités de traitement de l'information (commande ou introduction de données)" (ibid., 148)

iii) les procédures, composées d'opérations élémentaires, et dépendant de paramètres dont les valeurs seront à définir par l'utilisateur.

Un schéma représentera donc les opérations réalisées (ou à réaliser, dans le cas de l'analyse a priori) par l'élève entre deux états, de même que les réponses de la machine à ces opérations. Les schémas seront numérotés chronologiquement, Le parcours entre deux quelconques des états du système sera désigné par une suite de lettres alphabétiques, ce qui facilitera l'illustration de l'analyse à tout moment de l'activité, et qui permettra de situer ce moment par rapport à l'ensemble des procédures et stratégies adoptées. Notons, enfin, que les schémas représentant l'activité des élèves ne prendront en compte que ce qui a été effectivement réalisé, abstraction faite des intentions des élèves, ou de leurs réflexions n'ayant pas abouti à une action effective. Ces dernières seront, par contre, prises en compte par l'analyse de l'évolution des stratégies.

L'étude des productions des élèves sera organisée selon deux niveaux :

1) un niveau descriptif : rendant compte du déroulement de l'activité des élèves. Il servira comme point d'appui pour le suivi de l'évolution des stratégies et pour situer les moments qui feront objet d'analyse ultérieurement, par rapport à l'enchaînement de ces stratégies. A ce niveau, nous présenterons : la séquence des procédures et opérations effectivement mises en œuvre par chacun des binômes. Cette partie sera présentée par une suite de schémas rendant compte des manipulations effectuées, et des valeurs attribuées aux paramètres dans chacune des procédures fermées, ayant abouti à un résultat; le schéma de chaque procédure sera suivi d'une figure rendant compte de l'état

de l'écran à la fin de cette procédure. Par contre, toutes les intentions qu'avaient les élèves au moment de ces manipulations ne pourront être exprimées par ces dessins, pas plus que leurs attentes, par rapport aux réponses de la machine. Elles seront prises en compte dans l'analyse détaillée de leur activité, qui prendra appui sur leurs échanges oraux.

2) un niveau d'analyse qui essaiera de dépasser les observables pour étudier, chez les élèves, les structures de connaissances et les représentations internes de la situation, qui se situent derrière tel ou tel enchaînement d'opérations.

Pour ce niveau d'analyse, les recherches dans le domaine de l'ergonomie et de la psychologie ont rendu compte de la difficulté de cette reconstitution des représentations de la situation que se font les opérateurs; une telle reconstitution suppose que les actions des élèves sont orientées et intelligibles au sein d'une organisation globale de la solution du problème posé : "Assuming that the operator is rational, i.e. that he tries in any situation to make the decisions which he thinks will bring about the desired result, what are then the criteria that guide his decision, and why are they relevant to him? Some studies already show us that external factors [...] may favor the selection of one strategy over another, but we know little of how this plays a role on the more detailed levels of description" (Hollnagel 1983, p.140). Peu de réponses ont donc été établies à ce propos, tout comme à propos du problème de l'étude des facteurs qui peuvent amener à l'évolution ou à la modification des stratégies des opérateurs.

Dans les limites que permettront les choix qui ont guidé la construction de notre séquence, l'étude présente essaiera de repérer, dans la situation, des facteurs qui ont pu favoriser l'évolution des stratégies des élèves telle qu'elle a eu lieu. De tels facteurs peuvent se situer au niveau de la tâche (ses contraintes, ses exigences, la représentation qu'en ont les élèves), du dispositif (contraintes du logiciel, fonctionnement des procédures et leurs relations,..) ou de l'interaction entre les élèves au sein du même binôme.

Finalement, nous organiserons notre analyse de l'activité des élèves selon deux niveaux interdépendants, comportant des thèmes que nous avons dégagés en fonction de l'évolution visée :

1) le niveau de l'interaction avec le logiciel : évolution des représentations que se font les élèves de la fonction et du fonctionnement des procédures qui entrent en jeu : "Rectangle", "Prisme", "Cotation". L'évolution de ces représentations amènera les élèves à une redéfinition et une nouvelle structuration de leurs sous-buts.

2) le niveau de la construction, par les élèves, de l'espace représenté par Mac Space. Cette construction est, bien sûr, liée au niveau précédent; mais nous la situons à un autre niveau, plus abstrait et global que celui, utilitaire, de la représentation des procédures. Relèvera de ce niveau un secteur particulier de connaissances : la construction mentale par les élèves du système de référence régissant l'espace du logiciel. Lié directement aux objectifs d'enseignement de cette recherche, ce secteur se verra attribuer une importance particulière dans l'analyse.

II. Analyse de la tâche "Pavé"

II.1. Préliminaire :

Dans la phase précédente d'initiation, la construction semi-guidée proposée aux élèves aboutissait à la construction d'une représentation graphique d'un pavé droit, résultat que les élèves ont pu noter à l'issue de l'activité. Un résultat graphique analogue est le but de la tâche présente, au sein d'une situation que deux facteurs importants rendent fondamentalement différente :

* Contrairement à la phase précédente, la situation présente est une situation de résolution de problème, du fait de l'existence d'un but défini à l'avance, en fonction duquel les élèves aborderont la machine; ils devront donc procéder à une sélection parmi les procédures déjà expérimentées et à une réorganisation de la structure des procédures, en fonction de leur représentation du but à atteindre.

* Les dimensions du pavé à construire sont imposées, définissant d'une part des contraintes que le résultat graphique doit respecter, et d'autre part des données que les élèves doivent communiquer à la machine, selon une représentation, un séquençement et des règles de traitement déterminées par cette dernière.

Notre hypothèse est qu'il y aura évolution simultanée et interaction entre la connaissance des fonctions du logiciel et de leur mode de fonctionnement d'un côté, et la représentation que se fait l'élève du but graphique à atteindre; cette dernière interagit avec la connaissance des propriétés géométriques de l'objet à représenter. Des jeux de cadres (au sens de Douady) auront alors lieu, le long de la recherche et de l'évolution des procédures. Dans cette analyse préliminaire, contentons-nous d'énumérer les cadres qui entrent en jeu par le biais de la tâche proposée, quitte à étudier les changements de cadres et leurs interactions, de manière plus approfondie, lors de l'analyse de l'activité des élèves :

* le cadre géométrique : constitué par les conceptions des élèves à propos de l'objet à représenter (le pavé droit), et des connaissances qu'ils ont de ses propriétés géométriques;

* le cadre analytique : basé sur la représentation de relations géométriques par le biais de relations numériques, au sein d'un système de coordonnées;

* le cadre graphique : relevant de la géométrie projective, du code de la perspective et de la géométrie du dessin technique;

* le cadre informatique : constitué des outils dont on dispose au sein du logiciel utilisé, de la structure régissant ces outils et leurs relations, du mode de fonctionnement et du type d'interaction imposé par le logiciel;

Ce dernier cadre comporte des représentations symboliques des trois autres, que ce soit au niveau des objets ou des traitements. Elles se manifestent comme des contraintes d'utilisation que les élèves doivent prendre en compte pour réaliser le but.

II.2. Analyse des stratégies possibles :

Pour la réalisation de cette tâche, selon le mode de fonctionnement de Mac Space, deux stratégies sont possibles. Nous les développerons après une analyse du fonctionnement de la procédure de construction "Rectangle" que nous désignerons par "Rec."? Cette procédure est impliquées essentiellement par la construction d'un pavé avec Mac Space, mais elle sera aussi impliquée dans la réalisation des tâches ultérieures, le long de la séquence :

II.2.1. Analyse de la construction d'un rectangle

Pour pouvoir analyser les tâches proposées avec Mac Space, nous trouvons indispensable d'analyser la tâche de construction de l'objet élémentaire fondamental du micro-monde Mac Space : la facette; or, en nous référant au monde d'objets concernés par notre séquence d'enseignement, la catégorie fondamentale des facettes est celle des rectangles.

Une question importante est à approfondir dans cette analyse, et dans celle de la tâche de construction du pavé : comment se manifestent les correspondances entre les désignations usuelles des dimensions des objets (longueur, largeur, profondeur, hauteur) et leurs représentations par le logiciel, au cours de l'activité de construction ? Répondre à cette question touche au coeur des objectifs de notre recherche : elle touche à la façon dont sont "transposées" des relations spatiales "intra-objet", en des relations, au sein de

l'espace de Mac Space, entre la représentation de l'objet, ou de composants de cet objet, et un système de repérage. Une partie importante de l'activité des élèves sera orientée vers la découverte et la construction mentale progressive de ces correspondances, condition nécessaire à la réalisation de leur tâche.

Rappelons que, dans l'analyse conceptuelle du logiciel, nous avons fait le lien entre la position courante du curseur et les symboles (x,y,z) dont les valeurs sont affichées dans la fenêtre de communication. Ces symboles désignent les coordonnées relatives de la position courante du curseur par rapport au dernier point validé (si aucun point n'est encore validé, elles désignent les coordonnées absolues).

En nous référant au monde d'objets concernés par notre séquence, cette analyse ne prendra en compte qu'une catégorie particulière de rectangles, ceux qui sont parallèles aux plans du repère trirectangle de Mac Space; ce sont donc les rectangles horizontaux, frontaux ou normaux. Rappelons qu'un rectangle est construit, avec Mac Space, par la validation de deux sommets opposés; alors, au cours des différents moments de sa construction (cf. activation de l'icône n°1, schéma III.5, § III du chap.III), on trouve les significations de (x,y,z) suivantes :

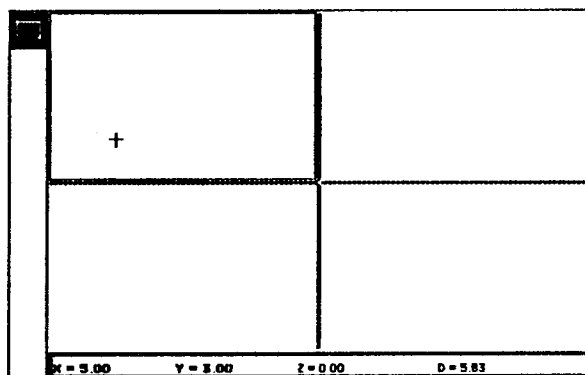


fig.IV.1

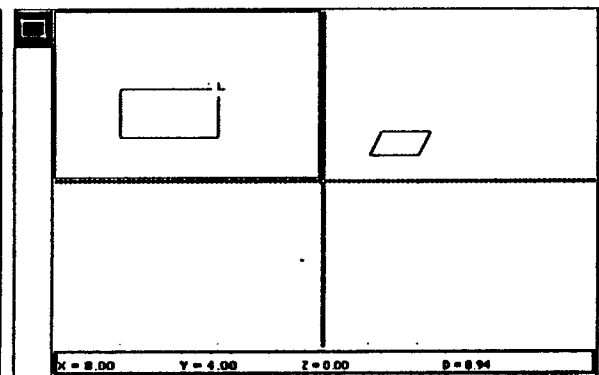


fig.IV.2

* avant la validation du premier point, (x,y,z) désignent les coordonnées du point courant; à la validation, elles désignent donc les coordonnées du premier sommet du rectangle ($(5,3,0)$ dans fig.IV.1);

* entre la validation du premier point et celle du deuxième point, (x,y,z) désignent les coordonnées relatives du point courant par rapport au premier sommet du rectangle; notons que, d'après la délimitation de la catégorie de rectangles à prendre en compte, l'une de ces coordonnées sera nulle, selon la fenêtre de traitement dans laquelle on construit le rectangle, donc selon la direction de ce dernier ($z=0$ dans le cas présent);

* à la validation du deuxième point, une des valeurs de x, y ou z étant nulle, les valeurs absolues des deux autres désignent les dimensions du rectangle ainsi construit. Ceci est dû à la propriété particulière des rectangles constructibles avec Mac Space : leurs côtés sont parallèles aux faces du trièdre de référence (dans fig.IV.2, les dimensions du rectangle construit sont 8 et 4 unités).

Schéma de construction d'un rectangle de dimensions L et l , dont un sommet a les coordonnées (x_0, y_0, z_0) :

Pour pouvoir accéder, par l'analyse, à tout moment de l'activité ultérieure des élèves, que ce soit à travers leurs actions ou à travers leurs dialogues, nous représenterons la tâche de construction du rectangle comme une procédure autonome, et expliciterons le séquençement de toutes ses opérations élémentaires, de manière à pouvoir l'utiliser dans tout autre schéma comportant une construction d'un rectangle quelconque, en donnant les valeurs adéquates à ses paramètres : une telle schématisation exige un symbolisme permettant la généralisation; en effet, un rectangle faisant partie de la famille que nous prenons en compte peut avoir l'une des trois directions : normal, frontal ou horizontal. Selon le cas, il sera construit respectivement dans la fenêtre : de la vue de côté, de la vue de face ou de la vue de dessus. L'une des opérations élémentaires de la procédure est donc la sélection de la fenêtre adéquate.

Nous appellerons "plan directeur d'une fenêtre" le plan de traitement de niveau zéro de cette fenêtre.

Désignons par

- * D_i les directions des trois plans directeurs ($i=1, 2$ ou 3) avec :
1 correspondant à la direction normale, 2 à la frontale et 3 à l'horizontale;
- * F_i les fenêtres de traitement : $i=1, 2$ ou 3 correspondant à la fenêtre : vue de côté, vue de face ou vue de dessus, respectivement;
- * C_i les 3 coordonnées : $i=1, 2$ ou 3 pour x, y ou z respectivement.

Selon la direction du rectangle, il doit être construit dans la fenêtre de traitement dont le plan directeur a la même direction. Soit F_i cette fenêtre.

Au cours de la construction du rectangle dans la fenêtre F_i , la coordonnée C_i sera constante, et déterminera le plan de traitement; pour des raisons de commodité, nous désignerons sa valeur par N , pour "niveau". Donc, la coordonnée C_i de tout point du rectangle à construire (et de son plan) sera égale à N ; en particulier, il en sera de même de son sommet (x_0, y_0, z_0) , faisant partie des données de ce problème, donc des contraintes de la construction : $N = C_{i0}$

Les deux autres coordonnées (C_j ; $j=1,2,3$; $j \neq i$) seront dynamiquement modifiées avec la position courante du curseur; la validation du premier sommet devra se faire au moment où ces deux coordonnées seront égales, respectivement, à $(C_j)_{j \neq i}$.

Les paramètres de la procédure sont donc, d'après les données du problème : la fenêtre de traitement F_i (déterminée par la direction D_i du rectangle), les dimensions L et l du rectangle, son niveau N et les coordonnées de son sommet $(C_j)_{j \neq i}$.

Dans le schéma suivant, nous représentons les opérations élémentaires composant la procédure de construction du rectangle considéré, contraint par les valeurs de ces paramètres. cette procédure sera représentée par :

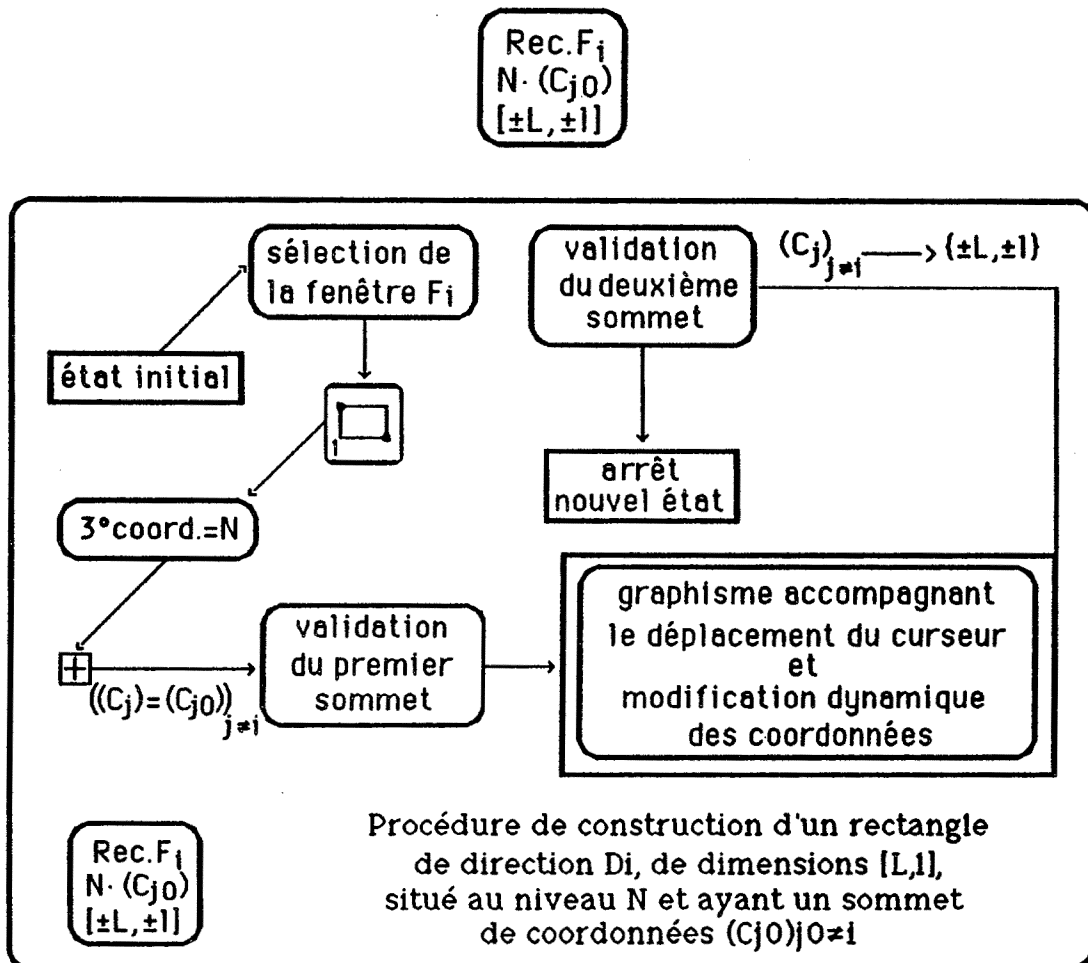


fig.IV.3

Dans ce schéma (fig.IV.3), la notation $\{\pm L, \pm l\}$ désigne un ensemble, résultat d'une des 4 combinaisons possibles : $\{+L, +l\}$, $\{+L, -l\}$, $\{-L, +l\}$ et $\{-L, -l\}$.

La notation $(C_j)_{j \neq i} \longrightarrow \{\pm L, \pm l\}$ désigne une des deux bijections possibles "égalité" entre les deux ensembles $(C_j)_{j \neq i}$ et $\{\pm L, \pm l\}$

Donc, une fois le premier sommet validé, il déterminera le rectangle à 8 possibilités près.

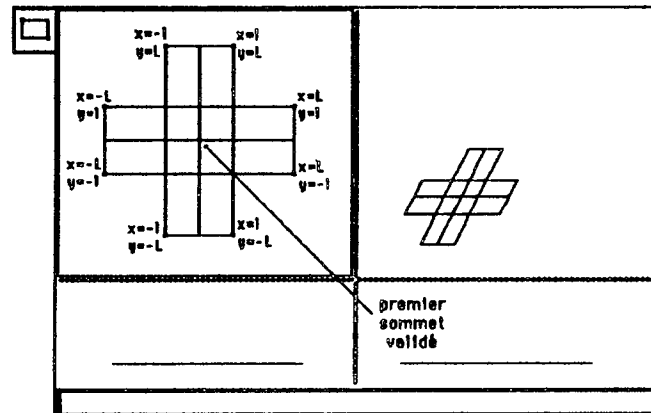


fig.IV.4

Ces possibilités multiples résultent du fait que les contraintes du problème ne déterminent pas le sens d'orientation des côtés du rectangle à construire, par rapport au sommet de coordonnées (x_0, y_0, z_0) .

Précisons que les valeurs figurant dans la représentation de la procédure "Rec." au sein de l'activité d'un élève sont les valeurs valides au cours de la procédure, abstraction faite de l'intention de l'élève, ou du fait que c'est l'élève qui leur a donné ces valeurs ou non. Par exemple, si l'élève ne réalise pas l'opération élémentaire "3^e coordonnée = N", la valeur affectée par défaut à N sera 0. On aura alors un cas comme celui de la fig.IV.5, sans que cela signifie, pour autant, que l'élève avait, de manière intentionnelle, affecté à N la valeur 0.

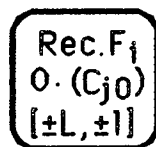


fig.IV.5

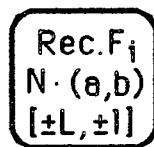


fig.IV.6

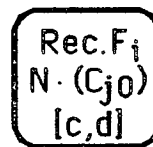


fig.IV.7

Des valeurs littérales remplaceront (C_j0) , si l'élève a validé un point quelconque pour sommet, sans régler ses coordonnées (fig.IV.6); il en sera de même pour L et l, si les dimensions du rectangle construit n'obéissent pas à des contraintes de dimensions (fig.IV.7).

II.2.2. Analyse de la construction d'un pavé :

Pour la construction, au sein de Mac Space, d'un pavé droit dont les trois dimensions sont imposées, deux stratégies sont possibles :

1- La stratégie de construction globale : Elle consiste à appliquer la procédure "Prisme" (représentée par l'icône n°4) à une facette rectangulaire qui jouera le rôle de "base de construction". Au cours de la séquence de dialogue déclenchée, un paramètre sera à communiquer, désigné dans une fenêtre de requête d'informations, par "Hauteur" (cf. schéma III.6, § III du chap.III).

2- la stratégie de construction par facettes : elle consiste à construire, une à une, les faces rectangulaires composantes du pavé, en les coordonnant entre elles. Elle comporte donc six phases, correspondant aux six faces à construire : deux faces horizontales à deux niveaux différents, deux faces frontales à deux niveaux différents et deux faces normales à deux niveaux différents.

1) Stratégie de construction globale :

Le pavé sera construit globalement par la machine, perpendiculairement à la fenêtre de traitement. Il sera situé dans l'un ou l'autre des deux demi-espaces définis par le plan de la "base de construction, selon le signe de la valeur affectée au paramètre "Hauteur"; dans le système de coordonnées régissant le logiciel, cette dernière désigne, en fait, la coordonnée relative, par rapport au plan de la base de construction, de celui de la face opposée (fig.IV.8).

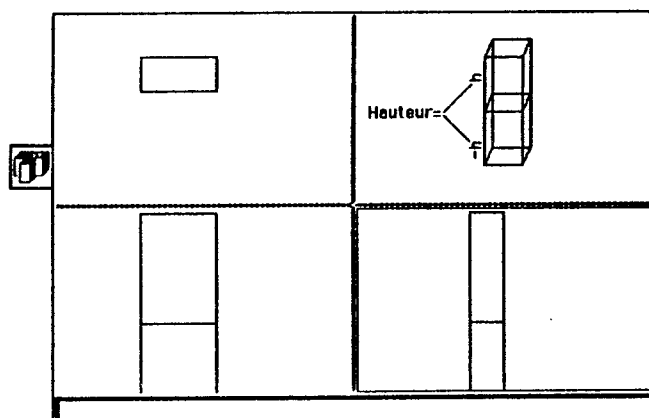


fig.IV.8

Vu l'équivalence opératoire des trois fenêtres de traitement de Mac Space, la "base de construction" n'est pas nécessairement la base du pavé. Selon sa direction et, par suite, la fenêtre sélectionnée pour la réalisation des opérations, cette "base de construction" pourra avoir l'un des six statuts suivants :

* dans le cas où la valeur affectée au paramètre "Hauteur" est positive, la "base de construction" sera : soit la base du pavé, soit sa face frontale, soit sa face de gauche;

* dans le cas où la valeur affectée au paramètre "Hauteur" est négative, la "base de construction" sera : soit la face dessus du pavé, soit sa face arrière, soit sa face de gauche.

i) construction, dans l'une des trois fenêtres de traitement, du rectangle "base de construction", en lui donnant les dimensions adéquates selon le statut qu'il aura par rapport au pavé;

ii) la même fenêtre étant sélectionnée, application au rectangle préconstruit de l'application "prisme", en affectant au paramètre "Hauteur la valeur adéquate.

Dressons le schéma général de construction d'un prisme ayant une position non-déterminée, de longueur d_1 , de largeur d_2 et de hauteur d_3 (fig.IV.9).

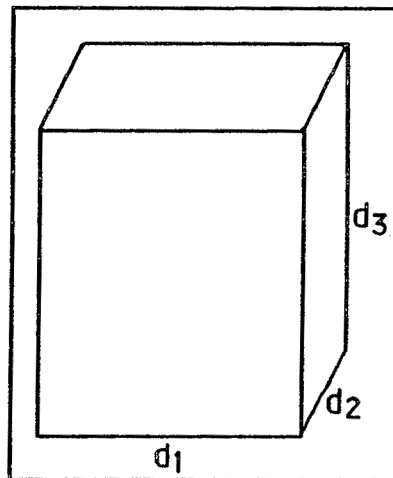


fig.IV.9

Les paramètres de cette procédure seront alors $(d_j)_{j=1,2,3}$, et la fenêtre de traitement que l'on désignera par F_i , i pouvant prendre l'une des valeurs 1, 2 ou 3.

La position du pavé étant quelconque, nous avons supposé que, dans la première phase de cette procédure, le niveau de traitement du rectangle "base de construction" n'est pas imposé, ce qui élimine la nécessité de prendre en compte le paramètre N ; de même que la position du premier sommet à valider, ce qui élimine les conditions imposées aux paramètres (C_j) .

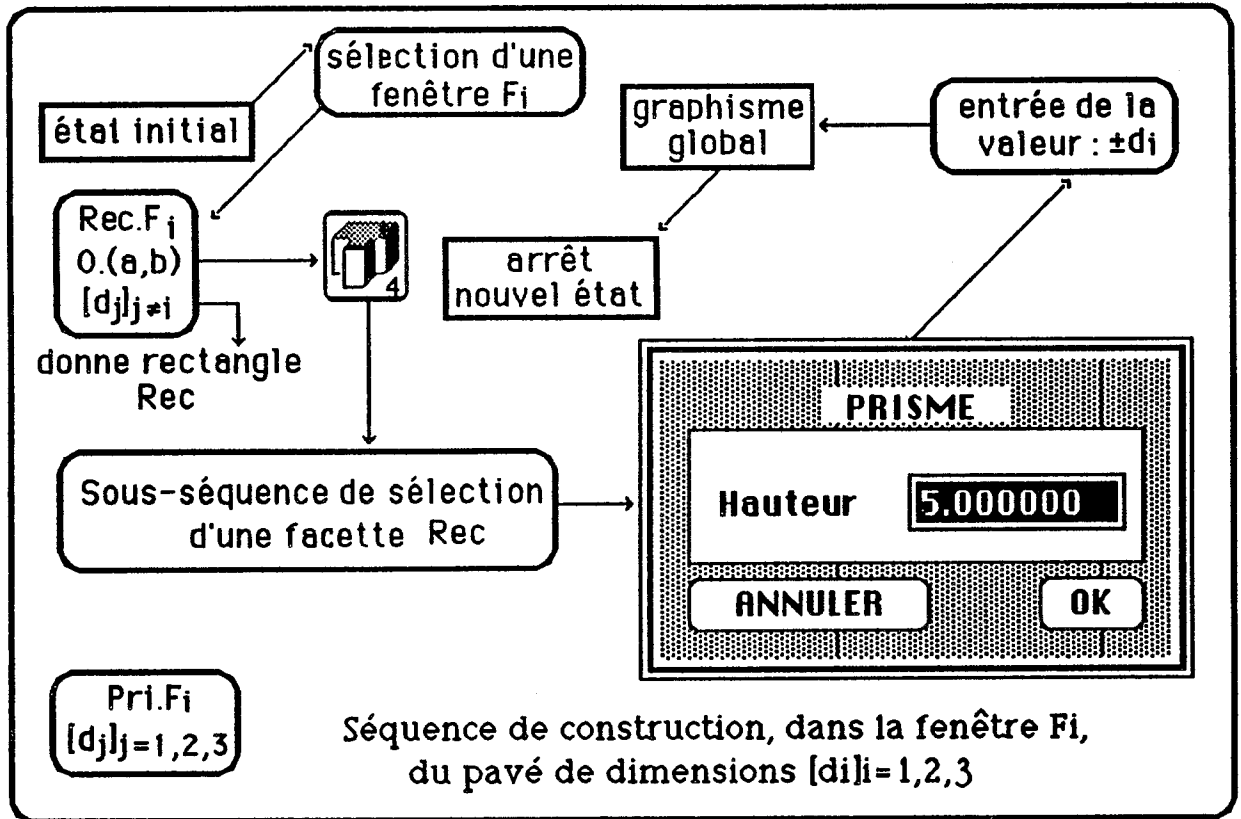


fig.IV.10

Selon le cas, nous représenterons la procédure "Pri." par un schéma du type de la fig.IV.11, pour signifier que c'est une procédure de construction d'un pavé droit ayant la facette f pour "base de construction", et h pour hauteur. (la base de construite est considérée comme déjà construite).

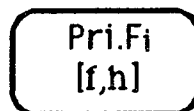


fig.IV.11

Cette stratégie de construction ne requiert que les dimensions du pavé comme paramètres; aucun élément supplémentaire n'est à prendre en compte; ceci est dû à un fait important : cette stratégie est entièrement basée sur des relations "intra-objet", relations établies entre les composants du pavé; aucune relation avec l'espace extérieur, et par suite avec le système de référence du logiciel, n'y intervient.

2- Construction par facettes :

Elle consiste à construire une à une les facettes composantes. Le problème revient donc à la construction triple de paires de facettes parallèles, dans chacune des directions

principales de l'espace. Les deux facettes de chaque paire sont donc à construire dans une des fenêtres de traitement F_i ($i=1,2,3$)

Vu l'équivalence opératoire des trois fenêtres de traitement de Mac Space, l'étude pourra être faite sur une paire représentative, définie par une des fenêtres, F_i . Les dimensions des deux éléments superposables de cette paire sont : $[d_j]_{j \neq i}$. Une fois le premier rectangle de cette paire construit (position quelconque et niveau nul par défaut), il déterminera la position du deuxième rectangle : le niveau en sera d_i , la position du premier sommet à valider coïncidera, dans la fenêtre de traitement, avec celle du premier rectangle (cf. fig.IV.13), le contrôle étant perceptif. Les phases de construction seront représentées donc par (fig.IV.12) :

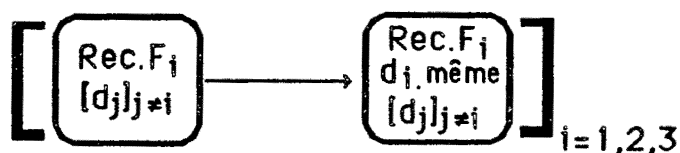


fig.IV.12

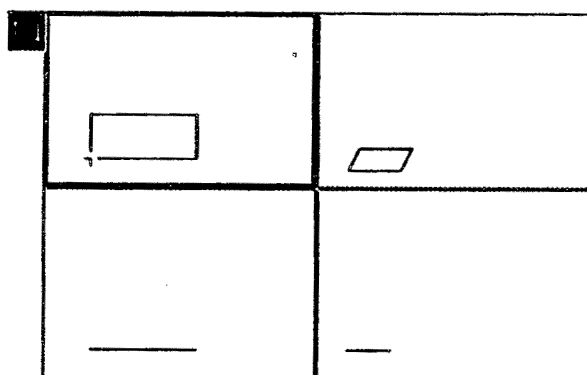


fig.IV.13

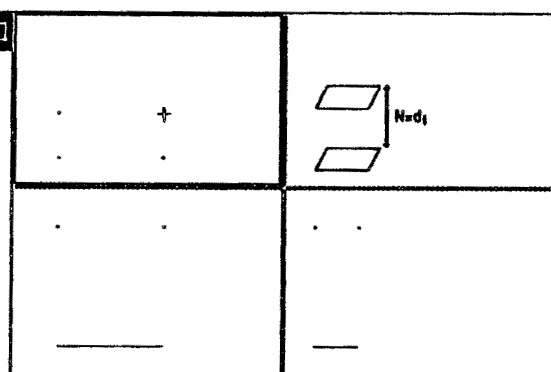


fig.IV.14

Ainsi sont coordonnées les deux faces d'une même paire. Il reste à connaître le moyen de coordonner ensemble des éléments appartenant à des paires différentes; ceci relève d'un problème plus général, celui de la coordination de deux facettes perpendiculaires, ayant une arête commune :

Pour analyser ce problème, nous l'illustrerons, pour des raisons de commodité, par la coordination d'une face horizontale avec une face frontale, cette analyse étant adaptable dans le cas d'une face normale; ce choix est fondé sur quelques suppositions, anticipant l'ordre des actions des élèves :

Nous supposons que, parmi les trois directions, une face horizontale a la plus grande probabilité d'être la première dans la suite des réalisations des élèves car :

i) la fenêtre de traitement dans laquelle une telle face doit être réalisée est celle de la vue de dessus. Elle est sélectionnée par défaut, ce qui donnera aux élèves l'habitude de la privilégier

ii) la direction plane horizontale est privilégiée par une conception la plus naturelle de l'espace tridimensionnel comme étant l'association d'un plan horizontal et d'une direction unidimensionnelle verticale;

D'autre part, nous supposons (et ceci à été confirmé par l'expérience) que, parmi les deux autres directions, la face la plus probable sera la face frontale car :

a) la représentation extérieure de Mac Space favorise le recours au dessin technique : pour concevoir un objet en 3 D, il faut donner sa vue de dessus, vue de face et / ou vue de côté.

b) la vue de face est la plus représentative de l'objet

Construction de deux facettes perpendiculaires, ayant une arête commune :

face horizontale :

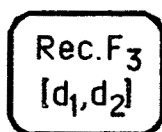


fig.IV.15

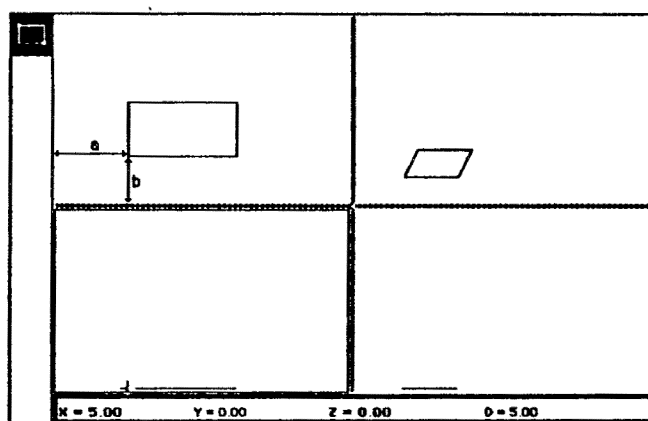


fig.IV.16

Désignons par $(a,b,0)$ les coordonnées du premier sommet validé, sa troisième coordonnée étant par défaut nulle; les coordonnées a et b sont indéterminées, car la position de ce sommet n'est pas imposée. Mais, une fois validé, ce point déterminera la position du sommet superposé de la facette frontale; ce dernier doit avoir les coordonnées $(a,b,0)$; donc, sa coordonnées d_2 vaut b ; comme on l'a déjà vu, cette coordonnée n'est autre que le niveau du plan de traitement de la face à construire; la procédure de construction de cette dernière aura donc une valeur déterminée pour son

paramètre N : la valeur b; nous ne parlerons pas des conditions à remplir pour le premier sommet à valider, car ce problème sera réglé perceptivement, par la correspondance de ce point avec le point correspondant de la vue de face de la facette précédente (fig.IV.16, vue de face)

face frontale :



fig.IV.17

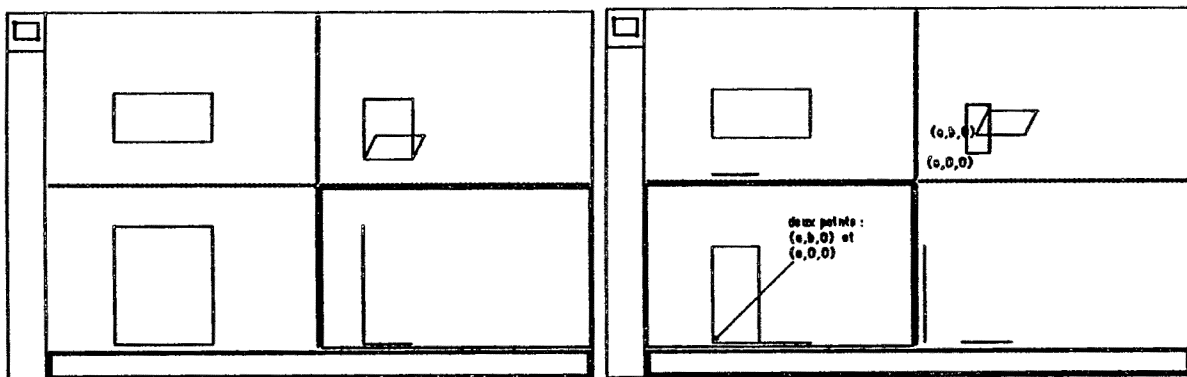


fig.IV.18

fig.IV.19

Contrairement à la stratégie précédente, qui ne fait intervenir que les données du problème, et malgré le fait que les contraintes du problème ne portent toujours que sur des relations intra-objet, la stratégie présente exige la prise en compte de nouvelles données, exprimant des relations extra-objet, entre les composants de l'objet et le système de référence du logiciel. L'intervention de ces données est incontournable dans le cas (très fréquent) où le premier sommet validé de la face horizontale possède des coordonnées non nulles; sinon, un cas de figure comme celui de la fig.IV.19 aura lieu.

III. Analyse de l'activité des élèves

III.1. Algorithmes généraux de solution :

(Pour la suite des procédures utilisées par chacun des binômes et les états d'écran obtenus voir l'annexe)

L'analyse de l'activité présente a révélé la mobilisation, chez les élèves, de connaissances relevant des quatre cadres déjà cités (§ II.1); ceci, selon les cas et la nature des sous-problèmes auxquels ils étaient confrontés. Plus précisément, on peut repérer la prise d'appui sur :

- des connaissances de propriétés géométriques du pavé droit (nombre, nature et directions des faces, superposabilités entre faces, superposabilités entre arêtes, orthogonalité,...). Non toujours explicitement formulées, ces connaissances se sont manifestées par des actions et des choix particuliers adoptant ces propriétés comme des contraintes à respecter nécessairement lors de la construction;

- des connaissances relevant de deux cadres différents; les élèves faisaient appel, par des moments de prise de décisions, à l'un ou l'autre de ces deux cadres :

* le cadre du dessin technique; il est mobilisé par la forme de la page de dessin et le système de vues représenté par le logiciel; ce dernier ne coïncide avec le système de projections adopté en dessin technique qu'au niveau de la forme, et dans des cas particuliers de la pratique de dessin (lorsque les composants à construire sont situés à un niveau de traitement nul).

* le cadre informatique; les connaissances des élèves au sein de ce cadre sont, au début de cette activité, restreintes aux acquis qu'ils auraient construits au cours de l'activité précédente, et aux représentations initiales qu'ils ont des fonctions des procédures; notons que ces représentations, qu'ils ont tenté de formuler au cours de l'activité "icônes", pouvaient aussi prendre appui sur leur expérience avec Mac Paint;

- le cadre analytique; quelques représentations symboliques utilisées par le logiciel (x, y, la modification de leurs valeurs entraînée par le déplacement du curseur,...) mobilisent des connaissances que les élèves auraient acquises en cours de mathématiques, concernant le repérage euclidien à deux dimensions. Les élèves prennent appui sur ces connaissances pour accorder une signification aux représentations symboliques du logiciel, étape nécessaire vers l'extension de ces connaissances par une interaction avec les cadres précédents.

Description et évolution des algorithmes de construction

Dans cette partie, nous essayerons d'analyser l'évolution, subie ou provoquée, des algorithmes généraux de solution chez les binômes étudiés. Comme nous l'avons mentionné auparavant, ces algorithmes, actualisés à partir de la représentation interne que se font les élèves de la situation (comprenant leur représentation de la tâche et du fonctionnement du dispositif), seront modifiés et adaptés au fur et à mesure que ces représentations seront confrontées aux différentes contraintes (en particulier celles du dispositif).

A première vue, et en jetant un coup d'œil rapide sur les suivis schématiques des opérations réalisées par les élèves, on peut toucher à ce phénomène d'adaptation d'après la tendance des schémas vers une uniformisation, exprimant la tendance des élèves vers des

procédures fermées et standardisées, du type "Rec." et "Pri." Au fur et à mesure de l'avancement dans l'activité, on voit apparaître moins de messages d'erreur ou d'annulations.

Après une phase de construction des fonctions et du mode de fonctionnement des différentes procédures, la résolution du problème revient finalement à structurer l'enchaînement des applications de ces procédures, et à trouver les éléments auxquels il faut les appliquer et les valeurs qu'il faut affecter aux différents paramètres entrant en jeu. Dans les résultats de ses recherches sur l'apprentissage de la programmation (transposables dans le cas de l'utilisation de Mac Space du point de vue de l'algorithmisation de la solution), Hoc (1977) insiste sur le rôle central des actualisations de ce qu'il appelle "les systèmes de représentation et de traitement" (concernant les données à traiter et les opérations à réaliser) dans l'évolution du mécanisme d'adaptation. "Cette adaptation conduira le sujet à mettre en œuvre une procédure de traitement correcte, à la suite d'une phase, plus ou moins longue, de résolution de problème. Ceci signifie qu'il arrivera un moment où le comportement du sujet se déroulera en conformité aux règles de fonctionnement du dispositif sous-jacent à la tâche prescrite. En d'autres termes, son comportement ne se traduira plus par des erreurs (par exemple par des erreurs de manipulation). De ce point de vue, on pourra dire que le comportement du sujet est compatible avec le dispositif."

Deux processus complémentaires, moteurs de cette adaptation et du processus de construction des stratégies autonomes, seront à étudier dans l'activité des élèves; ils entreront en jeu pour assurer, selon Bisseret (1986), une sélection opérée sous l'effet des objectifs de l'opérateur : "d'une part un processus de détection d'informations fournies par la situation et non attendues a priori : l'opérateur part des données pour, dans un deuxième temps, évaluer leur pertinence avant de les traiter plus en avant ou non. On parle d'un processus "ascendant" ou "de bas en haut"; il est dirigé par les données [...]. D'autre part un processus de recherche d'information attendue a priori par l'opérateur. Cette recherche est sous le contrôle de la stratégie de l'opérateur : celui-ci fait des hypothèses sur des informations qu'il s'attend normalement à trouver. On parle d'un processus "descendant" ou "de haut en bas". Il est dirigé par les attentes." (Bisseret 1986, pp.12-13)

C'est à travers cette optique que nous étudierons l'évolution des algorithmes globaux de résolution du problème posé; de ce point de vue, l'activité présente acquiert un statut particulier : quoiqu'elle soit en elle-même une activité autonome ayant des objectifs précis relevant des objectifs généraux de la recherche, elle peut aussi être vue, au niveau de l'interaction avec le dispositif et de l'algorithmisation de la solution, comme une phase transitoire, à travers laquelle seront construites des procédures à partir d'opérations élémentaires a priori non structurées. Peu à peu, et surtout à la fin de cette activité et au

cours des activités suivantes, ces procédures seront les nouvelles unités opérationnelles dont on dispose, et à partir desquelles d'autres stratégies doivent être construites.

L'activité présente intervient, sans autre transition, une semaine après l'activité de construction semi-guidée. Dans cette dernière, nous avons privilégié la base du pavé comme première face à construire, et la fenêtre de la vue de dessus comme première fenêtre de traitement; notre objectif était de préserver, pour le moment, le sens strict de la requête d'information intitulée "Hauteur", qui devra ultérieurement, et en fonction de l'activité des élèves, acquérir un sens plus général : la mesure d'une génératrice de la surface prismatique à construire, indépendamment du plan de sa directrice.

Ce renforcement de la vue de dessus est aussi soutenu par le fait que la fenêtre de la vue de dessus est sélectionnée par défaut dès l'ouverture d'une nouvelle page de dessin. Nous retenons pourtant l'hypothèse, fondée sur des résultats de travaux en dessin technique (Dolle 1985, Weill-Fassina 1984, 1985), que la vue de face restera prégnante, et se présentera aux élèves, dans l'ensemble des activités suivantes, comme la vue la plus représentative de l'objet.

Ainsi, parmi les algorithmes de construction adoptés par les trois binômes examinés, on trouve que Olivier et Stéphane ont persisté à commencer par la construction de la "vue de face", tandis que les deux autres binômes ont adopté un début avec la "vue de dessus". L'analyse a démontré (on l'illustrera par des exemples) que cet effet (prégnance de la vue de face) sera inversement proportionnel à un effet "mémoire opérationnelle" dont nous parlerons plus tard, par lequel les élèves auraient retenu comme pertinentes quelques actions accomplies pendant l'enchaînement qui a abouti au résultat "pavé droit". Remarquons que cet effet "mémoire opérationnelle" interfère avec l'évolution de la représentation du mode de fonctionnement mais ne lui est, en aucun cas, identique.

Mises à part les tentatives de résolution n'ayant pas abouti au résultat désiré, les trois binômes ont, à la fin de l'activité, adopté la construction du pavé à l'aide de la procédure "Prisme". Les algorithmes de construction seront donc étudiés en fonction des deux phases essentielles : la construction d'une facette du pavé, et l'application de la procédure "Prisme" à cette facette. Entre ces deux phases, et pour les trois binômes, la recherche du reste de la solution était guidée par un souci majeur : comment communiquer à la machine la troisième donnée numérique, non-introduite au cours de la première phase ?

Les trois binômes ont donc commencé leur construction en construisant une face ayant les caractéristiques numériques requises : la base du pavé pour les deux binômes (Eric, Serge) et (David, Rachel) (dans ce cas, les élèves parlent de "vue de dessus"), la face

du pavé pour (Olivier, Stéphane) (dans ce cas, les élèves parlent de "vue de face"). Alors que, pour les deux premiers binômes, la distinction est nette et le parcours est linéaire entre les deux phases de construction, le parcours suivi par le dernier binôme est marqué par plusieurs réalisations non réussies des deux phases, puis un retour sur la première phase, après une réalisation d'un pavé ne satisfaisant pas les caractéristiques numériques imposées. Ce retour, effectué selon une représentation du fonctionnement de la procédure "Prisme" développée au cours des réalisations précédentes, est marqué par le changement de la fenêtre de traitement : au lieu de la fenêtre de la vue de face, c'est celle de la vue de dessus qu'ils adoptent; la raison de ce changement sera analysée plus loin.

D'après les différentes étapes de résolution du problème par chacun des binômes, et la situation de ces étapes par rapport aux deux phases essentielles, on peut essayer d'établir leurs représentations internes, et l'évolution à travers les modèles mentaux successifs qu'ils se faisaient de la solution globale. Rappelons que cette construction est faite au risque d'interprétations parfois poussées plus loin que les réalisations effectives; en effet, nous sommes consciente que dans la plupart des cas "on n'a pas d'accès direct à la représentation du sujet : pour l'analyste, elle constitue toujours un concept hypothétique construit à partir d'observables ayant avec elle des rapports plus ou moins directs" (Leplat 1985, p.269) :

(David, Rachel)

(Pour la suite des procédures utilisées par chacun des binômes et les états d'écran obtenus voir l'annexe)

Deux algorithmes de solution se sont confrontés, basés sur deux représentations différentes de la solution :

1) Représentation "dessin technique", soutenue par David :

Dessiner la vue de dessus et la vue de face du pavé, avec les caractéristiques numériques correspondantes (peut-être pensait-il aussi dessiner la vue de côté);

2) Représentation "construction globale", soutenue par R. :

Construction d'une face du pavé obéissant aux contraintes numériques du problème, puis construction du pavé à partir de cette base, à l'aide d'une icône graphique qui le construise globalement

Nous considèrerons que cette représentation existe chez un binôme dès lors que les élèves commencent à chercher un moyen de faire construire d'emblée le pavé à partir d'une

facette, sans qu'ils aient à construire et coordonner eux-mêmes plusieurs faces (même s'ils ne savent pas encore comment le réaliser).

La première représentation est révélée par la procédure n°4, parvenue suite à une discussion :

((David, Rachel); 4,a)

R: et maintenant?

D: on fait la vue de face

R: 20... non, il nous faut 20 de hauteur maintenant

D: oui, il faut... vue de face; on a fait la vue de dessus.... donc, maintenant, on va faire la vue de face; on va prendre 15 et 20

En fait, on peut repérer, dans le dialogue des deux élèves, deux positions différentes, résultant du recours de chacun d'eux à un cadre différent : David situe son raisonnement dans le cadre du dessin technique, R. se situe plutôt dans le cadre informatique, celui des outils de construction dont on dispose : son souci premier est de trouver la manière selon laquelle elle pourrait communiquer à la machine la valeur de la hauteur; ce sous-but mobilise chez elle (mémoire opérationnelle) l'existence d'une procédure au cours de laquelle l'ordinateur demande une information "Hauteur"; d'ailleurs, au début de l'activité, en dessinant le rectangle de base, elle dit : "*x et y, ça doit être longueur et largeur; parce que la hauteur, il nous la demande après*".

Puisque le modèle de solution que propose R. repose sur des souvenirs non coordonnés et des moyens qui restent à retrouver, et puisque le modèle proposé par David répond au souci d'affecter la valeur 20 à la hauteur ("*on va prendre 15 et 20*"), c'est le modèle de solution "dessin technique" qui l'a emporté.

La programmation de la solution adoptée en un premier temps serait donc représentée par la séquence de sous-buts :

- i- construction de la vue de dessus, rectangle 15x13
- ii- construction de la vue de face, rectangle 15x20
- iii- éventuellement construction de la vue de côté, rectangle 13x20 (ou 15x20)

Une telle solution s'est révélée inadaptée après l'étape (ii), d'après le résultat graphique non compatible avec la logique du dessin technique ((David, Rachel), Etat E2) :

Les rectangles construits représentent les composants du pavé, non leurs projections; leurs positions doivent donc être contrôlées en vue de la connexité des composants, au

moins à partir du second rectangle à construire. Malgré le choix qu'ont fait les élèves de commencer leur construction par le point origine (0,0), les deux rectangles n'étaient pas connexes, faute de précision lors de la manipulation de la souris; le modèle de solution a donc été abandonné.

((David, Rachel); Etat E2)

R: eh!! regarde; on s'est planté.... non, ça ne va pas; il faut qu'on recommence .. parce que... on a mal cliqué, alors... ça ne va plus; avec la perspective, on le voit (le décalage); même là, on le voit (dans la fenêtre de la vue de dessus)

Le modèle de solution a ainsi été abandonné, pour donner lieu à un retour sur la première proposition de R. Cet abandon est parvenu pour des raisons différentes de celles prévues à la construction (contraintes du logiciel, contraintes de la tâche); il est parvenu suite à une imprécision de manipulation qui l'a mis en question, à tort d'ailleurs. Mais, de toute manière, nous pensons que même si cette solution avait été maintenue par les élèves, elle aurait pu amener à un autre modèle de la solution, basé sur la construction "facette par facette"; ce dernier modèle n'aurait pas non plus abouti à la solution, à cause du problème des niveaux de traitement qui doivent être non nuls pour certaines facettes; les élèves ne disposent pas, pour le moment, de moyens de résolution d'un tel problème "facette par facette".

Le résultat non désiré incita donc R. à reprendre son idée, autour de l'existence d'une procédure au cours de laquelle l'ordinateur demande la hauteur; et c'est ainsi que le modèle de solution "Prisme" a fini par s'imposer :

((David, Rachel); 5,a)

R: non, ça ne va pas... normalement, c'est lui qui demande la hauteur

D: fais-le à zéro pile... ça va coller

R: on lui demande de nous le faire directement (elle rigole) s'il accepte... tout à l'heure, tu te rappelles? c'est lui qui a demandé la hauteur (elle parle de l'activité semi-guidée qui a eu lieu juste avant l'activité présente)

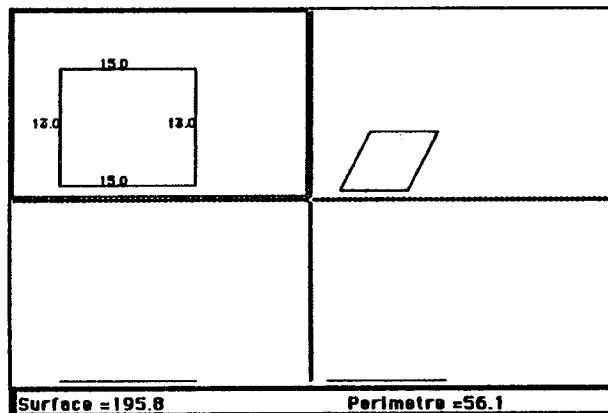
D: comment on a fait?

R: on a.... (silence) on a tapé sur le 4, là... ah oui... il va demander la hauteur, normalement... voilà... qu'est-ce qu'il va dire? je tape là

(Eric, Serge)

(Pour la suite des procédures utilisées par chacun des binômes et les états d'écran obtenus voir l'annexe)

Rapidement, les deux membres de ce binôme se sont accordés pour adopter l'algorithme de solution "construction globale". Pourtant, un différend est apparu après la première phase, lié à la représentation que se fait chacun des deux élèves de la fonction et du fonctionnement des procédures impliquées ("Prisme" et "Cotation") : le problème s'étant concentré, comme pour tous les autres, en un problème de communication à la machine de la donnée numérique "hauteur", S. supposait trouver dans la procédure "Cotation" un moyen de le faire, d'où leur procédure n°2 qui a donné lieu à l'état de l'écran :



Dans la réponse de la machine, les caractéristiques numériques affichées sont cohérentes avec les données du problème; mais le problème de communiquer à la machine la valeur de la hauteur reste posé :

((Eric, Serge); 3,a)

E: mais la hauteur.... il faudrait..... comment on fait pour cliquer la hauteur, déjà ?.... c'est là, c'est....

Dans la dernière réplique d'Eric, on repère une mobilisation de la mémoire opérationnelle, à propos d'une manipulation déjà expérimentée : il sait qu'il existe un certain moyen "pour cliquer la hauteur"; donc, un moyen par lequel la valeur de la hauteur est communiquée d'une manière statique, contrairement à la manière dynamique par laquelle les deux autres données numériques (longueur et largeur) ont été introduites. C'est alors que la procédure "Prisme" a été retrouvée comme étant le moyen de déclencher, de la part de la machine, une requête de la valeur de la hauteur.

(Olivier, Stéphane)

(Pour la suite des procédures utilisées par chacun des binômes et les états d'écran obtenus voir l'annexe)

Dans la séquence des réalisations de ce binôme, on peut repérer plusieurs reprises à zéro du traitement, qui ont donné lieu à plusieurs réalisations non linéaires des deux phases de construction. Au cours de ces reprises, on peut repérer chez les élèves un modèle de solution du type "construction globale", avec la procédure "Prisme"; l'accord sur ce modèle de solution est parvenu après un différend qui n'a pas duré longtemps : après la construction d'une facette dans la fenêtre de la vue de face, Olivier avait entrepris un traitement relevant du modèle de solution "construction par facettes", en essayant de construire, dans la fenêtre de la vue de dessus, un rectangle qui représenterait la base du pavé; son souci essentiel est, en fait, de communiquer à la machine la valeur de la 3^e dimension du pavé (sa profondeur, que les élèves appellent "longueur"). Stéphane, par contre, soutient le modèle de solution "construction globale", tout en approuvant un changement de fenêtre de traitement.

((Olivier, Stéphane); 4,a)

S: il faut que ça, ça mesure 15

O: oui, alors on va choisir la longueur, ou un truc comme ça.... c'est une cote (par cote, il désigne les valeurs des coordonnées qui varient dans la fenêtre de communication) (ils règle la position du curseur pour dessiner un rectangle dans la fenêtre de la vue de dessus)

S: non, il faut pas en dessiner un autre (il veut dire qu'il ne fallait pas dessiner un autre rectangle)

O: comment on fait pour faire la hauteur?

S: la hauteur, c'est la vue de..... non, la hauteur on l'a; c'est la longueur

O: et comment tu fais?

S: avec la vue de côté, bien sûr (ils sélectionnent la vue de côté)... mais pour faire la perspective, c'est ça (il indique l'icône "Prisme")

Pour "faire la longueur" (qui est en fait la profondeur du pavé), la fenêtre de la vue de côté est la plus naturelle parmi les deux fenêtres que les élèves considèrent comme adaptées à cet objectif : fenêtres de la vue de dessus et de la vue de côté.

Ainsi, une représentation interne de la situation s'installe, caractérisée par un modèle erroné de solution que nous appellerons "changement de fenêtre" : construction d'une facette dans une fenêtre de traitement, sélection d'une autre fenêtre, puis application, à la facette préconstruite, de la fonction "Prisme". Une telle procédure donne lieu à des rectangles coplanaires, faces d'une surface prismatique dont la génératrice est parallèle au plan de la facette préconstruite, car perpendiculaire au plan de la fenêtre courante ((Olivier, Stéphane) Etat E2).

Une telle représentation de la solution persistera chez les élèves au cours de leurs réalisations suivantes et de leurs reprises à zéro du traitement; on peut parler d'un phénomène de "fixité fonctionnelle", classiquement connu dans le domaine des recherches

"résolution de problème" : "a special case is the so-called functional fixation, i.e. the situation where a person has become locked or fixated in a particular way of interpreting a situation, or in using specific strategy so that a necessary shift does not occur. As the name indicates, the problem is to break the functional fixation, i.e. to get away from the deadlock and start using another strategy or getting a fresh view on the situation" (Hollnagel 1983, p.139).

Cette fixité a été brisée à deux moments de l'activité, entre lesquels elle s'était rétablie. Ceci nous invite à étudier les facteurs qui se situent derrière son installation, les facteurs qui ont favorisé son premier dépassement, et les raisons pour lesquelles ce dépassement n'a pas été suffisant. Une telle analyse ne pourra pas se dissocier de celle de la représentation que se font les élèves du fonctionnement de la procédure "Prisme", et qui sera étudiée plus loin (§ III.3).

Nous retenons, pour le moment, que le décalage qui existe entre la procédure erronée des élèves et le mode de fonctionnement de la procédure "Prisme" réside dans le fait que les élèves changent de fenêtre de traitement au début de la deuxième phase de construction; par cette opération, les élèves visent à voir modifier, dans la nouvelle fenêtre de traitement, la valeur de la coordonnée correspondant à la 3^o dimension du pavé, non encore communiquée à la machine (la profondeur pour les deux premières réalisations dans la fenêtre de la vue de face, la hauteur pour les deux dernières dans la fenêtre de la vue de dessus) :

((Olivier, Stéphane); 4,a)

S: il marque plus la longueur de 15

O: donc, il faut prendre la vue de dessus

L'installation de la procédure "changement de fenêtre" résulte donc :

- * de la prédominance de l'objectif de communiquer à la machine les dimensions du pavé, et de pouvoir contrôler les modifications des caractéristiques numériques variables, affichées par le logiciel,
- * d'une représentation encore non élaborée de la procédure "Prisme" : de sa fonction (elle construit une surface prismatique perpendiculairement à la fenêtre de traitement qui, par conséquent, doit être celle où la base de construction a été dessinée) et de son fonctionnement (elle déclenche une requête d'information, permettant l'introduction de la hauteur de manière statique)

Ces deux raisons maintiendront la procédure erronée sur plusieurs reprises, malgré un premier dépassement : celui-ci se situe au niveau de la procédure n°6 ayant donné lieu au

premier résultat graphique qui, c'est vrai, ne satisfait pas les contraintes numériques du problème, mais qui est acceptable comme représentant un pavé. Essayons d'étudier les conditions qui ont amené ce dépassement :

L'obtention d'un résultat graphique non acceptable (état E2), suite à la procédure n°4 n'a pas été suffisant pour déstabiliser la procédure, et surtout l'action de changer de fenêtre; il ne fit que déstabiliser le choix de la fenêtre à sélectionner : c'était peut-être celle de la vue de dessus qu'il fallait choisir; d'ailleurs, elle aussi permet de voir se modifier les valeurs de la 3^e dimension du pavé. Pour ce faire, retour à l'état E1; or, pour cet état, la fenêtre de la vue de face était sélectionnée, car elle était la fenêtre courante de traitement. Les élèves considèrent la fenêtre de la vue de dessus comme la nouvelle fenêtre de traitement, mais omettent de la sélectionner (procédure n°5).

Le problème se trouve alors déplacé : après l'obtention du message d'erreur deux fois, le souci d'en trouver la cause et de pallier cet effet l'emporte sur celui de contrôler les modifications des caractéristiques numériques, pour pouvoir introduire la valeur de la "longueur".

((Olivier, Stéphane), après 5)

S: mais oui, le rectangle est là... il faut cliquer dans cette vue là (il indique la fenêtre de vue de face sélectionnée) (par "rectangle", il désignait le cadre rectangulaire indiquant la fenêtre sélectionnée)

En réponse à la requête d'information intitulée "Hauteur", Olivier propose d'annuler car ce n'est pas la hauteur du pavé qu'on veut introduire, S. avait déjà sélectionné l'option "OK" en vue de faire avancer le procédé :

((Olivier, Stéphane); Etat E3)

S: regarde !.. c'est un prisme !... on n'aurait pas dû dire OK

O: il fallait changer la hauteur

S: ben, refais

Ce passage illustre un processus "ascendant", au cours duquel les informations données (quoique non attendues) donnent lieu à une redéfinition de la fonction que peut avoir la procédure, de la représentation des données, et des traitements à réaliser. Ainsi, a été amenée la décision d'opérer la sélection de la base de construction dans la fenêtre de la vue de face; cette décision n'est pas basée sur une connaissance et une construction mentale stable du fonctionnement de "Prisme", mais elle est parvenue en réponse à un problème de

sélection de fenêtre. Nous pensons que c'est la raison pour laquelle ce dépassement, relevant d'un déplacement du problème de mode de fonctionnement, n'a pas été suffisant pour briser, dans la suite, la fixité fonctionnelle autour du modèle de solution "changement de fenêtre".

Ce n'est qu'à la 4^o reprise à zéro de la résolution, au niveau des deux procédures n°13 et n°14, que l'algorithme de solution devient compatible avec le mode de fonctionnement, pour donner lieu à un pavé vérifiant les contraintes numériques du problème. Cette compatibilité est liée, en premier lieu, à la compatibilité de la représentation qu'ont les élèves de la procédure "Prisme" avec le mode de fonctionnement de cette procédure. Un long cheminement de structuration, basé sur des attentes non réalisées et des résultats non attendus, a contribué à une telle évolution. L'analyse correspondante sera faite dans les deux paragraphes suivants (construction de l'espace du logiciel et représentation du fonctionnement du logiciel-outil), dont relèvent les principaux moments de ce cheminement.

III.2. Evolution du rapport des élèves à l'espace du logiciel :

III.2.1. Analyse des processus-clés dans la construction de l'espace du logiciel :

Dans ce paragraphe, nous essayerons de dégager, par une analyse a priori, les processus qui pourraient avoir lieu au cours de la confrontation des élèves à l'espace du logiciel utilisé. Précisons que l'ordre dans lequel nous exposons ces réflexions a priori ne supposent pas d'ordre précis dans lequel interviendraient ces processus.

Dans cette partie comme dans les parties suivantes, nous désignerons une telle construction par : la structuration de l'espace représenté par le logiciel. Cette structuration se fera en interaction avec celle de l'espace de l'objet, et de la prise de conscience des relations qui le régissent. Les jeux de cadres seront importants entre : le cadre géométrique (et particulièrement les connaissances en géométrie projective et en dessin technique), le cadre analytique (structure d'un repérage plan orienté) et le cadre informatique.

Explicitons les processus-clés de la construction de l'espace du logiciel, que nous essayerons de repérer dans l'analyse de cette activité, et des activités suivantes. Pour illustrer les problèmes posés, nous prendrons comme exemple le pavé à représenter au cours de l'activité présente

1) De l'objet à ses composants : correspondances de positions

D'après la conception même du logiciel, représenter un objet doit passer par la représentation de (ou d'une partie de) ses facettes composantes (au moins une facette, au cas où l'on utilise une procédure de création globale). Donc, pour au moins une facette, les élèves doivent savoir déterminer sa position dans la fenêtre de traitement correspondante, en fonction de la position de l'objet selon une direction précise d'observation.

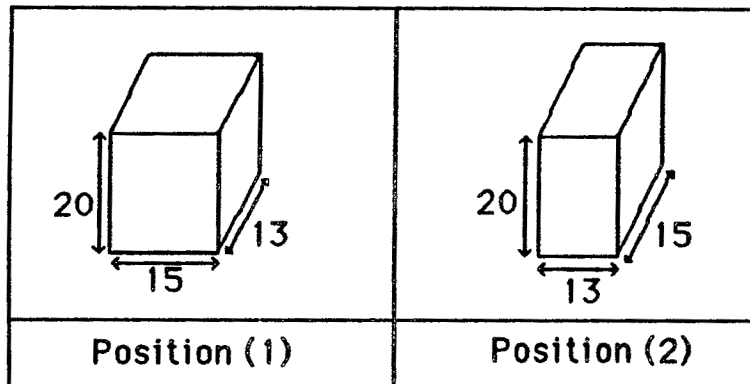
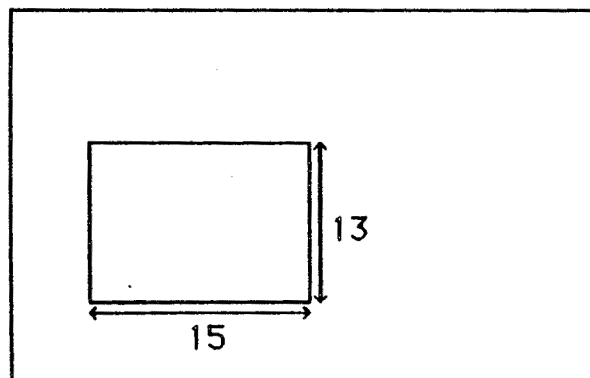


fig.IV.20

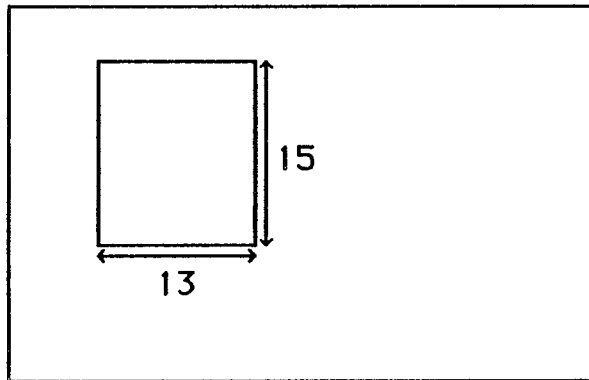
Dans la tâche présente, les données numériques du problème réduisent à deux les positions possibles du pavé à représenter (vis-à-vis de l'élève-observateur); en effet, la valeur de sa hauteur est désignée dans la consigne, contrairement à celles de sa largeur et de sa profondeur.

Supposons que la représentation de la facette se fait dans la fenêtre de la vue de dessus; alors, selon la position du pavé, la position de la facette par rapport à l'espace de la fenêtre sera déterminée :

à la position (1) (fig.IV.20) correspond la position de la facette-base, :



à la position (2) (fig.IV.20) correspond la position de la facette-base :



(Dans les deux dessins précédents, le cadre rectangulaire représente les frontières de la fenêtre de la vue de dessus)

A quelque nuance près, résultant de la nuance existant entre "vue" et "projection" (recherches en dessin technique, Bessot & Eberhard 1982, 1983, 1986), une telle correspondance relève du domaine de la géométrie projective et de celui du dessin technique. Les élèves auront recours à leurs connaissances, formulées ou restreintes au niveau de l'action, dans ces domaines.

2) Structuration de l'espace de la fenêtre de traitement

La représentation de la facette doit être réalisée dans une des fenêtres de traitement qui représentent, chacune, l'espace tridimensionnel selon une direction de vue particulière (les directions principales de l'espace). D'après la conception même du logiciel (cf. § II du chap.III), et la particularité du monde d'objets concernés par cette séquence (composants rectangulaires parallèles aux plans du trièdre euclidien), le travail se fait, pour une facette donnée, dans un plan de traitement de l'espace de la fenêtre correspondante. Un système de repérage bidimensionnel régit ce plan de traitement, ce système étant la projection, sur ce plan, du plan du repère tridimensionnel qui lui est parallèle (conception stratifiée de l'espace).

Supposons que le traitement se fasse dans la fenêtre F_i . Au cours de l'action donc, et comme nous l'avons déjà expliqué, les valeurs de deux des trois coordonnées $(x_j)_{j \neq i}$ figurant dans la fenêtre de communication seront variables. Une correspondance est alors à construire entre les déplacements du curseur et les variations des valeurs des coordonnées; l'espace de la fenêtre doit se structurer en fonction des informations numériques affichées, à travers la structuration de correspondances particulières :

* correspondance $(x_j)_{j \neq i} \rightarrow (D_j)_{j \neq i}$, avec D_j désignant les directions unidimensionnelles principales. Ainsi, par exemple, une correspondance doit être construite par les élèves, au

sein de la fenêtre de la vue de dessus, entre le couple ordonné (x,y) et le couple ordonné (direction horizontale, direction verticale).

* correspondance (sens de déplacement du curseur) ---> (sens de variation des valeurs des coordonnées).

* correspondance (valeurs $(0,0)$) ---> (position de l'origine du plan de traitement).

3) correspondance (2 dimensions principales de l'objet) ---> $(x_j)_{j \neq i}$ (coordonnées relatives)

Par transition, les deux correspondances précédentes vont aboutir à une troisième, qui fera correspondre aux mesures de l'objet des valeurs des coordonnées. Par exemple, dans la fenêtre de la vue de dessus, et pour la construction du pavé ayant la position (1), cette correspondance consiste à décider qu'à partir de la validation du premier sommet, la valeur de x doit correspondre à la largeur du pavé (15), et celle de y doit correspondre à sa profondeur (13).

Une telle correspondance, faite au niveau de l'action, peut tendre vers une autre, plus abstraite, entre les coordonnées (non plus leurs valeurs) et les directions principales du pavé. Ainsi, les élèves décideront, par exemple, que la coordonnée x , correspondant à la direction horizontale au sein de la fenêtre de la vue de dessus, correspond à la direction horizontale frontale du pavé; et que la coordonnée y , correspondant à la direction verticale au sein de la même fenêtre, correspond à la direction horizontale normale du pavé.

4) correspondance (3 dimensions principales de l'objet) ---> $(x_i)_{i=1,2,3}$ (coordonnées relatives)

Cette correspondance peut passer par une extension des connaissances à propos du repérage plan à la construction de repérages plans dans des directions bidimensionnelles différentes (les directions principales de l'espace). Ainsi, y et z jouent, dans la fenêtre de la vue de côté, le même rôle que jouent x et y dans celle de la vue de dessus, par exemple.

Cette extension amenant à la structuration des espaces des trois fenêtres, et aux correspondances bipolaires entre les coordonnées et les directions principales de l'objet, aboutira à une correspondance tripolaire, à construire dans les deux espaces (espace de l'objet et espace du logiciel), entre les coordonnées d'une part, et les directions principales de l'objet et, par extension, de l'espace réel.

Ainsi,

la coordonnée x correspond à la direction horizontale frontale,
la coordonnée y correspond à la direction horizontale normale,
la coordonnée z correspond à la direction verticale.

5) Coordination des trois espaces des fenêtres

Cette étape, exigeant un travail mental encore plus avancé, ne sera visée que par des tâches plus tardives de la séquence avec Mac Space. Elle consiste à dépasser le niveau de la composition par juxtaposition des plans de traitement au sein des fenêtres, pour aboutir à une coordination des espaces représentés par ces fenêtres, en vue de la construction d'une représentation mentale de l'espace tridimensionnel du logiciel; une telle activité mentale se déroulera en interaction avec les connaissances et leur évolution, à propos de l'espace réel de l'objet.

Les problèmes posés dans ce cadre relèvent du type de problèmes étudiés en dessin technique, et concernant la coordination des vues d'un objet pour construire une représentation mentale de cet objet. Une nuance fondamentale existe, pourtant, entre cette logique du dessin technique et celle de nos tâches, nuance résultant de la différence des objectifs : dans nos tâches, l'objet est connu (donné réellement, dessiné, ou bien connu des élèves). L'objectif est d'utiliser l'espace de l'objet comme modèle pour la construction d'une représentation de l'espace du logiciel. Or ce dernier est régi par un système de référence tridimensionnel, résultat de la coordination de repérages bidimensionnels; il servira à son tour, et à travers les correspondances (coordonnées ---> dimensions principales) à la construction d'une représentation d'un système de référence qui pourrait organiser l'espace de l'objet

II.2.2. Evolution des représentations qu'ont les élèves du logiciel-espace :

Ce paragraphe s'occupera, comme le précédent, de l'évolution des conceptions des élèves à travers leur interaction avec le logiciel, mais d'un point de vue plus abstrait : la construction mentale, chez les élèves, de l'espace représenté par Mac Space, et de sa relation avec l'espace de l'objet à dessiner (micro-espace réel). Une telle construction se fera à travers l'action, donc la confrontation des élèves aux contraintes du logiciel et surtout au système de mesures et de référence le régissant. Ce paragraphe comportera alors deux sous-titres principaux : 1) Construction du système de référence, 2) Représentation de l'espace de Mac Space en relation avec l'espace réel. Encore une fois, la séparation des deux évolutions est artificielle, vue l'interaction étroite qui les lie, on le verra au cours de l'analyse.

1) Construction du système de référence :

(Pour un aperçu sur les caractéristiques du système de référence régissant Mac Space, recourir au § II du chap.III).

La construction mentale par les élèves du système de référence du logiciel se fera à travers la construction d'un sens à attribuer aux informations numériques (statiques ou dynamiques, selon l'état courant de la machine), affichées par le logiciel ou saisies par les élèves à travers les fenêtres de communication. A partir de cette construction de sens d'éléments observables, la construction doit se poursuivre pour donner lieu à une représentation mentale d'éléments non-observables, car non matérialisés par le logiciel : l'origine et les axes du système de référence plan régissant chacune des fenêtres au niveau zéro (ou de sa projection à un niveau quelconque de traitement, selon la représentation stratifiée de l'espace (cf. § II du chap.I)). Nous supposons que le jeu de cadres sera important entre : d'une part, le cadre analytique, et d'autre part, les cadres géométrique et informatique.

a) Evolution de la signification attribuée aux nombres affichés :

Les contraintes numériques du problème sont, dans cette activité, le facteur moteur principal d'une telle évolution; en fait, la construction de la signification d'au moins deux des éléments x , y , z se présente, dans cette tâche, comme une étape incontournable dans la résolution du problème graphique posé.

En utilisant les mêmes désignations qu'au § II.2, rappelons que, au cours de la création graphique dans une des fenêtres F_i , la coordonnée x_i restera constante (nulle par défaut); $(x_j)_{j \neq i}$ prendront les valeurs des coordonnées relatives du point courant (porté par le curseur) par rapport au dernier point validé. Si aucun point n'est pas encore validé, les valeurs de x , y et z désigneront les coordonnées absolues du point courant (par rapport au système de référence régissant le logiciel).

Etudions le cas particulier de la procédure de création graphique "Rectangle", la seule procédure de création d'objets plans, concernée par la tâche présente (et par les tâches suivantes, concernant des rectangles et particulièrement des carrés) : les rectangles constructibles à l'aide de cette procédure présentent la particularité d'avoir leurs côtés parallèles aux axes du trièdre de référence. De ce fait, les valeurs des coordonnées auront des statuts particuliers, selon la phase de construction. Au cours de la construction d'un rectangle dans une fenêtre F_i , avec $i=1,2,3$, deux phases sont à considérer, à partir de la sélection de l'icône :

i) avant la validation du premier sommet, les valeurs de $(x_j)_{j \neq i}$ sont celles des coordonnées absolues du point courant (position courante du curseur). Dans ce cas, le parcours du curseur n'est matérialisé par aucun support, pas plus que les projetantes du point correspondant. Nous parlerons alors de "coordonnées-repères" (fig.IV.21).

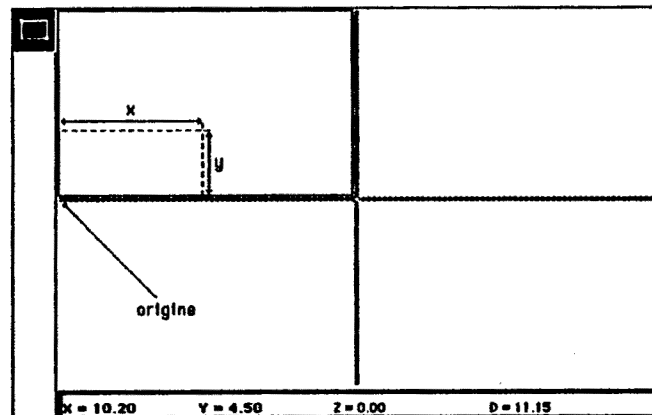


fig.IV.21

ii) entre la validation du premier sommet et celle du deuxième sommet, les valeurs de $(x_j)_{j \neq i}$ sont celles des coordonnées absolues du point courant (position courante du curseur) par rapport au premier sommet; elles sont donc égales, en valeur absolue, aux mesures des côtés du rectangle courant, correspondant à la position courante du curseur (qui sera, à la validation, celle du deuxième sommet). Dans ce cas, le parcours du curseur (selon la diagonale du rectangle) ne sera pas matérialisé, mais ses projetantes et ses projections dans le sous-système de référence relatif, seront matérialisées par les côtés du rectangle. Nous parlerons alors de "coordonnées-mesures" (fig.IV.22).

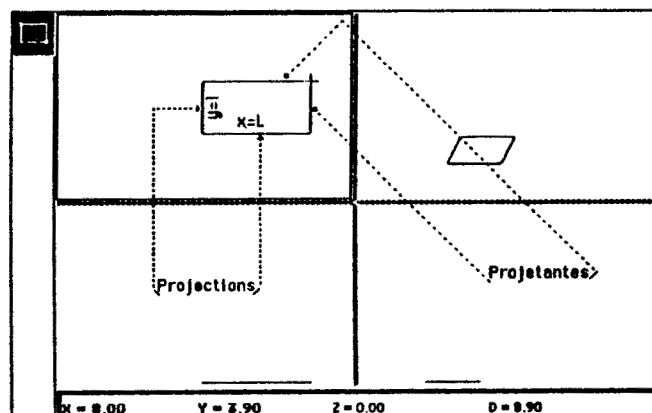


fig.IV.22

Notre hypothèse, confirmée par l'évolution constatée chez les élèves, est que l'activité se terminera par au moins la construction chez les élèves du sens des valeurs variables des coordonnées (ou de deux de ces coordonnées) comme "coordonnées-mesures". En effet, la tâche et ses contraintes, concernant surtout les mesures, favorisent une telle signification; la

position du pavé à construire n'étant contrainte par aucune donnée numérique, la signification "coordonnées-repères" est moins favorisée, fait que l'observation et l'analyse de la conduite des élèves ont conforté.

L'analyse de l'activité des élèves a montré que le sens qu'ils attribuent aux valeurs variables des coordonnées dépend de la phase au cours de laquelle ils découvrent ces modifications comme fait pertinent pour la réalisation de la tâche, et essaient par conséquent de leur attribuer une signification, en fonction de leur sous-but actuel. Ainsi la signification "coordonnées-repères" n'est apparue que chez le binôme (David, Rachel), en alternance ou en concomitance avec la signification "coordonnées-mesures". En effet, leur prise en considération des valeurs variables de x et de y , et leur recherche d'une signification à leur attribuer ont eu lieu dès le début de l'activité; ceci, vu que leur première opération était de sélectionner l'icône "Rectangle", et que leur objectif primordial était de communiquer à la machine les données numériques du problème. Chez les deux autres binômes, seule la signification "coordonnées-repères" est apparue.

Signification : "coordonnées-mesures"

Le binôme (Eric, Richard) faisait partie des rares binômes qui avaient noté, au cours de l'activité précédente (semi-guidée), la relation entre les valeurs variables des coordonnées et les dimensions du rectangle en cours de construction. Ainsi, on n'a noté aucune hésitation ou recherche chez Eric (binôme (Eric, Serge)) pour qui, dès le début de l'activité, les "*chiffres d'en bas correspondent aux cotes du dessin*" (formulation de (Eric, Richard), activité semi-guidée); cette représentation n'a pu être déstabilisée par la suggestion de son nouveau partenaire S. :

((Eric, Serge); 1,b)

E: mais.... attends; x, c'est la.... euh.... 15, pour la longueur.... voilà.... voilà, 15,

S: non, mais, après, je crois qu'on peut changer

D'autre part, rien, dans l'action ou l'observation au cours de la construction n'a contredit cette représentation. La validation du premier sommet a été effectuée rapidement, car la vraie activité se concentrait dans le contrôle des valeurs de x et y par la suite; les variations de ces valeurs avant la validation du premier sommet n'ont pas compté et n'ont probablement pas été remarquées, ce qui défavorise la signification "coordonnées-repères".

Quant au binôme (Olivier, Stéphane), le moment de la découverte d'une relation entre les déplacements du curseur et les valeurs variables de x et de y se situe au cours de leur procédure n°2, qu'ils avaient commencée avec l'intention de dessiner un rectangle de taille quelconque, et de modifier ses dimensions ultérieurement.

((Olivier, Stéphane); 2,c)

S: ehl regarde; c'est marqué là.... qu'on est bête!

O: ah oui... c'est quoi?... x, ça doit être la longueur

Le sous-but primordial de communiquer à la machine les données numériques du problème accorde alors de la pertinence aux valeurs de x et de y .

((Olivier, Stéphane); 2,c)

S: regarde.... ça... alors attends.. il faut que la longueur soit 15; attends; je vais te dire... augmente... va à droite.. un tout petit peu... encore à droite..

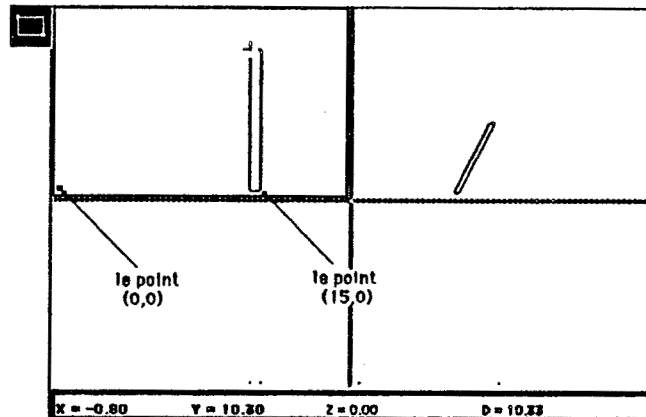
O: il faut d'abord que je mette un point

S: ah oui

La signification construite est liée au sous-but actuel : introduire les données numériques. Ces dernières portent sur les dimensions du rectangle, ce qui a favorisé cette signification; c'est pour cela, d'ailleurs, que Olivier était conscient qu'il fallait d'abord "mettre un point "; en effet, la position du premier point n'est pas importante (ils ont choisi une position quelconque, sans prêter d'importance aux coordonnées correspondantes).

Le cas du binôme (David, Rachel) est particulier car, à part la signification "coordonnées-repères" amenée par une évolution étudiée au paragraphe suivant, ils ont attribué deux significations différentes du type "coordonnées-mesures", en fonction de leur représentation du fonctionnement de la procédure "Rectangle" :

Les élèves ont commencé leur construction selon une signification "coordonnées-mesures", avec une représentation "crayon-règle" de la procédure "Rectangle". C'est donc une signification "coordonnées-mesures", présentant la particularité que la mesure se fait le long de la trajectoire du curseur, au cours de la construction. Le graphisme qui s'en est suivi n'était pas compatible avec cette représentation : à partir de la validation du point, les deux coordonnées x et y ont été remises à zéro, alors que les élèves s'attendaient à ce que x garde la valeur 15, pour pouvoir amener y , séparément, à la valeur 13.



Ce résultat graphique imposera alors une autre signification du type "coordonnées-mesures", différente de la précédente par le fait que la mesure se fait le long des projections (ou projetantes) de la position courante du curseur sur les deux axes perpendiculaires (vertical et horizontal) passant par le point validé. Cette signification est liée à l'abandon de la représentation "crayon-règle" de la procédure "Rectangle" au profit de la représentation "sommets opposés".

Evolution vers la concomitance des deux significations

(David, Rachel)

La recherche suivante d'un point de coordonnées nulles est une conséquence de l'alternance des deux significations; elle est, en même temps, favorisée par le refus d'accepter des valeurs négatives comme mesures des côtés.

((David, Rachel); 1,d)

D: -15... pourquoi il y a "-" maintenant?

R: je ne comprends pas

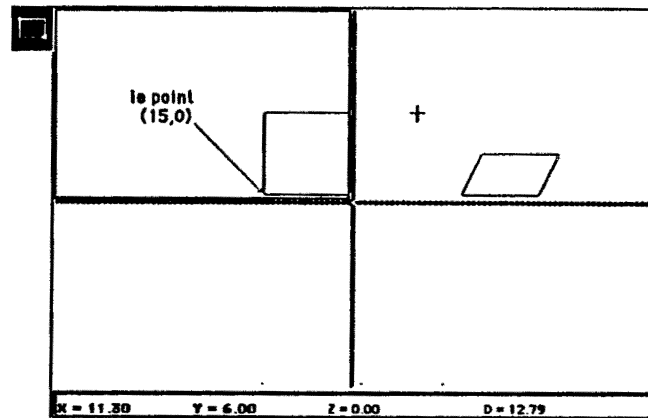
D: $x = -14.50$, $y = \dots$

R: attends, fais voir, quand il change, il y a plus de "-"? (elle amène le curseur jusqu'à un point situé dans le quadrant "en-haut, à droite" du point validé)

D: non... quand t'arriveras là-bas, non (il montre du doigt la portion de droite de la fenêtre)

R: attends.. là, il est dans le bon sens.... parce que j'ai pas cliqué au bon endroit; on va cliquer à nouveau...

Les élèves cherchent donc à amener x et y aux valeurs 15 et 13, en déplaçant le curseur dans le quadrant "à droite, en-haut" par rapport au premier point validé. Mais, à partir du point déjà validé, et en déplaçant le curseur dans cette direction, il est impossible d'atteindre la valeur $x=15$ (la largeur de la fenêtre est plus petite que le double de la mesure 15).



Ce problème, résultant des contraintes du logiciel et des données de la tâche, amena les élèves à changer la position du premier point validé, d'où l'annulation (1,e) et la validation du point situé à peu près au milieu du côté horizontal inférieur de la fenêtre (d'ordonnée nulle).

((David, Rachel); 2,c)

R: ben, on va essayer de partir du milieu, maintenant?...

Derrière ce choix conscient, transparait une volonté de partager la fenêtre en deux parties, une pour les valeurs positives de x, et une pour les valeurs négatives; ne serait-ce pas une recherche implicite d'un axe dont le statut serait analogue à un axe d'ordonnées ?

La validation du point du milieu n'a pas été basée sur des valeurs particulières de x ou de y, mais sur la perception; ceci nous invite à dire que la signification "coordonnées-repères" n'est pas encore établie. Mais le problème d'insuffisance de la taille de la fenêtre reste posé, cette fois dans les deux directions (celle des x positifs et celle des x négatifs, x désignant les coordonnées relatives par rapport au point validé) :

((David, Rachel); 2,e)

R: non, ça ne va pas... il arrive pas jusqu'à 15..... essayons par là (du côté gauche du point validé)....

D: x=-2.50...

R: oh non... encore "-"... (silence) est-ce qu'il nous donne un zéro? ce serait bien qu'il nous donne un zéro

D: pourquoi?

R: eh ben, s'il me donne zéro, ça veut dire que quand je bougerai, j'aurai obligatoirement des valeurs positives... logiquement

Ainsi, d'après ce glissement successif du premier point validé en vue de résoudre le problème de la taille de la fenêtre, d'un côté, et celui des nombres négatifs de l'autre, R. est

arrivée à concevoir l'existence d'un point "zéro", à partir duquel les valeurs seraient positives. Mais leur recherche porte sur un point pour lequel $x=0$, car au cours de leur manipulation, c'était toujours x qui prenait des valeurs négatives (le point validé a toujours été d'ordonnée nulle). Cette fois, le point validé est (0, 12.80), assez proche du coin "gauche, en-haut" de la fenêtre. Au cours de cette recherche, les élèves attribuent bien aux valeurs de x le sens de "coordonnées-repères".

((David, Rachel); 2, g)

D: ben, c'est là

R: clic... voilà, c'est bon... ensuite... (déplacement du curseur) ah non, "-"... (la valeur de y est négative) pourquoi un "-" là-bas? c'est pas possible... et maintenant, il faut que je monte... ah oui, il faut que je clique en bas, et que j'aille vers le haut.... je recommence.... en bas à gauche, hein?

D: cette fois, ça va être bon

R: allez, à 0...0.... hop; maintenant, il va me donner... un 15

Au cours de cette dernière recherche, résultant de la persistance de valeurs négatives, le sens "coordonnées-repères" s'élargit pour porter aussi sur les valeurs de y . Nous parlons de concomitance avec la signification "coordonnées-mesures" car, la construction de la signification "coordonnées-mesures" ne détruit pas celle de nombres-mesures; l'exigence de la tâche qui nécessite de faire des mesures est trop forte pour que les élèves abandonnent la signification de dimensions du rectangle, qui se met en vigueur dès que le premier sommet est validé.

Dans la séquence d'essais de ce binôme, on assiste à une construction de quelques aspects concernant le fonctionnement du système de coordonnées régissant le logiciel. Cette construction se fait, certes, au niveau de l'action, mais aussi au niveau intellectuel, ce que prouvent les anticipations et les attentes des deux élèves, de même que leurs réactions aux résultats non-attendus par de nouvelles anticipations, en vue de contourner les nouveaux sous-problèmes. Cette construction est amenée comme une solution à deux problèmes, apparus le long de l'action visant à construire un rectangle [15, 13] :

- problème de l'insuffisance de la taille de la fenêtre
- problème de l'apparition de nombres négatifs.

On assiste, d'autre part, à un jeu de cadres important entre les connaissances jusque-là acquises à propos du fonctionnement de l'outil informatique et les connaissances acquises dans le champ analytique (repérage plan) : Derrière les actions des élèves, on peut repérer un essai de construire une analogie entre la structure du plan de la fenêtre et celle d'un repère plan, dont les élèves ont une représentation en recours au cadre analytique. Au

niveau du cadre informatique, ces actions se traduisent par la recherche de caractéristiques particulières :

* l'effet du déplacement du curseur sur le signe et la croissance (ou décroissance) des deux valeurs de x et de y . Il s'en suit une construction de sens positif et de sens négatif de déplacement, dans chacun des quadrants de la fenêtre, définis par la position du premier point validé.

* l'existence d'un point à partir duquel les valeurs de x et de y restent positives; le point recherché est l'origine $(0,0)$, située au coin "gauche, en-bas", et trouvée par deux annulations successives des valeurs de x , puis de y .

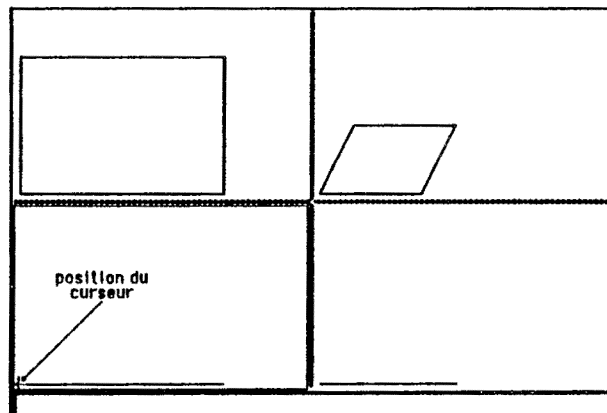
Une telle situation peut procurer et de mettre en œuvre une connaissance dynamique et significative du point origine, et une définition plus opérationnelle que celle qui est acquise usuellement en classe : au lieu de la définition statique : "l'origine est le point ayant ses coordonnées nulles", émergera une autre définition liée au dynamisme des modifications des valeurs affichées dans la fenêtre de communication : l'origine est le point auquel s'annulent les valeurs des coordonnées, en l'approchant indéfiniment.

Pour ce binôme, cette représentation du système de référence restera stable au cours des activités suivantes, où ils essayeront toujours de commencer toute construction à partir du point $(0,0)$. Pour les autres binômes, il faudra attendre d'autres contraintes plus fortes, car plus engageantes au niveau du résultat graphique obtenu. Pour la tâche présente, la position du premier point à valider reste libre, surtout avec l'algorithme de "construction globale", à l'aide de la procédure "Prisme". C'est dans le seul cas où les élèves auraient adopté la "construction facette par facette" que le problème de la position de l'origine auraient été posé d'une manière cruciale; or, cet algorithme n'a été adopté que momentanément par David et R., qui avaient déjà choisi le point origine, à cause d'autres contraintes.

Dans notre construction de la séquence avec Mac Space en général, et de cette situation-problème en particulier, nous avons fait un inventaire des problèmes auxquels pourraient être confrontés les élèves, selon leurs stratégies de résolution possibles; ainsi, nous avons pu dresser un certain découpage des aspects du fonctionnement informatique qui seraient nécessaires et incontournables pour la résolution des problèmes posés, et des aspects qui ne le seraient pas, mais qui pourraient être abordés selon l'une ou l'autre des stratégies adoptées. L'extension à trois dimensions du système de repérage plan fait partie de cette dernière catégorie. En effet, le problème est résoluble par l'application de la procédure "Prisme" qui épargnera la nécessité d'attribuer du sens aux trois coordonnées; seulement deux coordonnées seront alors impliquées. La troisième ne sera abordée que si

les élèves adoptent, au moins momentanément, un algorithme de construction "dessin technique" ou "facette par facette". C'était le cas de (David, Rachel) :

Par leur procédure n°4, ils avaient l'intention de dessiner la vue de face du pavé. Dès la sélection de "Rectangle",



((David, Rachel); 4,b)

D: z.... bon, alors...

R: z? ... oui, ça doit être z, là

D: c'est la hauteur... la hauteur, il te faut quoi, là?

R: il me faut 0 (elle parle de la valeur de x)... je vais cliquer là, normalement, ça devrait faire 0 (là, c'est l'extrémité du segment, vue de face du rectangle horizontal déjà construit)... puisqu'il me faudrait la hauteur.... je suis bien obligée de faire à peu près pareil... allez, hop.... on va cliquer

Rapidement, les modifications des valeurs de z ont été attribuées au déplacement du curseur selon la verticale, avec une signification "coordonnées-mesures" : "c'est la hauteur"; cette signification est liée au souci de communiquer à la machine la valeur de la hauteur, et basée sur des connaissances concernant les trois directions principales de l'objet à représenter. La nécessité de la connexité est prévue, R. l'anticipe en voulant donner à x la valeur zéro, sachant qu'elle l'aurait en plaçant le curseur à la position du point, correspondant dans la fenêtre de la vue de face au premier point validé dans celle de la vue de dessus. D'après le choix des coordonnées (0,0) à la création de ce point, la connexité sera, en principe, effective; de même, z aura, pour ce point, la valeur zéro, car c'est sa valeur constante par défaut lors de la création dans la fenêtre de la vue de dessus.

Pour les élèves (surtout R.), la signification "coordonnées-mesures" redevient dominante, la concomitance des deux significations est, pour l'instant, rompue :

((David, Rachel); 4,b)

D: non, ça fait 0.20 (à la validation du point, et par imprécision de manipulation, z avait la valeur 0.20)

R: oui, mais z, on s'en fout... pour l'instant... c'est combien? 20?

D: oui

A nouveau, la valeur de la coordonnée n'a pas d'importance avant la validation du premier point.

2) Construction de la relation : "Espace de l'objet / Espaces des fenêtres"

Au cours de cette activité, les élèves ont eu à construire, au moins une fois, une facette du pavé. Pour les algorithmes finaux de construction, cette facette n'est autre que la base de construction du pavé, à l'aide de la procédure "Prisme". Rappelons que la consigne ne détermine pas la position du pavé à représenter, et que deux positions sont possibles. Au plus tard, la position choisie par les élèves du pavé à représenter est déterminée à partir du moment où la première face est dessinée. Leur activité suivante doit alors se dérouler en conséquence, surtout pour leur recherche de la représentation sous laquelle ils peuvent (ou doivent) communiquer la troisième donnée numérique et de la fenêtre de traitement adaptée.

Ainsi, d'après leur production à la première phase de construction, (Eric, Serge) et (David, Rachel) avaient choisi la position (1), la plus probable d'ailleurs, pour deux raisons :

- * pour cette position, la vue de face possède la plus grande surface, ce qui est cohérent avec les résultats de recherche en psychologie et en dessin technique, concernant la représentativité de l'objet par la vue de face (Dolle, ouvrage collectif "Rabardel & Weill-Fassina 1984);

- * les deux binômes avaient commencé leur construction dans la fenêtre de la vue de dessus; de ce fait, la position (2) du pavé est défavorisée par le fait que sa vue de dessus (ou la représentation de sa base dans la fenêtre) serait un rectangle ayant une position non-habituelle (côté vertical plus long que côté horizontal)

Par contre, Olivier et Stéphane ont commencé leurs deux premières réalisations dans la fenêtre de la vue de face, en dessinant un rectangle [13, 20], ce qui a fixé à la position (2) pour le pavé à représenter. Cette position a persisté, même lorsque, au cours de leurs deux dernières réalisations, les deux élèves ont construit la base du pavé, dans la fenêtre de la vue de dessus (donc, selon la position non-habituelle du rectangle).

((David, Rachel); 1,c)

R: alors, attends.... x,... x, ça doit être le premier....

l'ordre habituel étant x, y , alors x doit correspondre à la première donnée numérique de la consigne (valeur 15).

ou encore en créant eux-mêmes des contraintes faisant la correspondance entre les deux dimensions de la base et les deux directions de ses côtés :

((Eric, Serge); 1,b)

E: mais..... attends; x, c'est la longueur... euh..... 15, pour la longueur.... voilà, x est 15

La déduction " $x=15$ " repose sur deux correspondances : " x , c'est la longueur" et "15 pour la longueur"; par "longueur", ils désignent la mesure du côté horizontal frontal du pavé. Notons que la correspondance " x , c'est la longueur" peut résulter d'un recours à la structure du repère plan usuel (l'axe des x est l'axe horizontal frontal); l'information "la longueur est de 15" ne fait pas partie des données du problème; les élèves se la donnent en se représentant le pavé dans la position (1).

Quant à la structuration du plan de traitement au sein de la fenêtre correspondante, et à la construction du système de repérage plan le régissant, elle s'est basée sur l'action et l'observation des effets du déplacement du curseur sur les valeurs variables des coordonnées :

Après leur confrontation aux contraintes déjà évoquée (au cours de leur procédure "crayon-règle"), (David, Rachel) ont pris conscience de l'existence de règles à respecter au cours de la construction, et de relations à découvrir, structurant le plan de la fenêtre; d'où leur recherche du point origine. A sa découverte, a succédé la recherche des correspondances :

((David, Rachel); 3,b)

R: x, qu'est-ce que ça peut être, x?

D: x, c'est ça

R: tu crois?

D: oui, parce que.... regarde, ça (il indique du doigt le côté horizontal), c'est tjs plus grand que ça (il indique du doigt le côté vertical), et regarde; 17.50 et 10.80; regarde

R: ah... logique, oui.... c'est pas idiot ça... alors, 17, et nous, il faut que ça soit 15... voilà... 15.... et, il fait 13

De même pour (Olivier, Stéphane), au cours de leur procédure n°2, qui s'est déroulée au sein de la fenêtre de la vue de dessus :

((Olivier, Stéphane); 2,d)

O: x, c'est quoi? c'est la largeur? c'est quoi?

S: ben, ça dépend

O: oui, mais c'est quoi? c'est la longueur?

S: ben, attends, il y a qu'à regarder quel est le plus grand...

O: je bouge à droite, tu me dis lequel se déplace le plus

S: c'est x... donc, ça doit être 15

O: ça c'est la largeur

S: la longueur... ben, la longueur et la largeur, ça dépend de ce que tu choisis

Lorsque ces deux élèves ont changé de procédure et voulu commencer leur construction dans la fenêtre de la vue de face, ils ont aussi dû construire les correspondances :

* coordonnées ---> directions principales de l'objet

* coordonnées ---> directions principales de la fenêtre

((Olivier, Stéphane); 9,a)

O: qu'est-ce qu'on dessine sur cette vue ?... longueur, largeur, tout ça ?

S: la... la hauteur et la... la largeur... enfin, ça dépend, ce qu'on appelle la largeur

O: oui, la hauteur et la largeur, il faut faire..... donc, il faut que...

S: ça fasse 13,...

O: ce qui est embêtant, c'est qu'on ne sait pas si ça c'est la hauteur ou la largeur

S: x.....

O: ça c'est la largeur.... oui, x c'est la largeur, et z c'est la hauteur

S: oui

O: donc, il faut que x soit...

S: x 13 et hauteur 20.... alors x 13 et z -20 alors

Le problème de la troisième correspondance (2 directions principales de l'objet ---> les 2 directions principales de la fenêtre) était quasiment résolu, car il relève des acquis en géométrie projective et dessin technique, surtout qu'il s'agit de la vue de face.

En ce qui concerne le problème des sens d'orientation le long des deux directions principales de la fenêtre de traitement, et alors que David et Rachel ont cherché à l'éviter en commençant leur construction à partir du point origine, on trouve que Olivier et Stéphane l'ont rencontré sans s'en soucier, car, même avec des valeurs négatives, le résultat graphique était compatible avec leur attente. Au cours de la construction de la face du pavé,

((Olivier, Stéphane); 3,b)

O: eh... pourquoi c'est négatif?

S: parce que tu descends..... mais ça, c'est pas grave... il faut que tu aies -20 là et 13 là (il indique du doigt la direction verticale puis la direction horizontale)

III.3. Evolution des représentations du fonctionnement : interaction avec le logiciel-outil :

Dans cette partie, nous nous intéresserons à l'étude de l'interaction entre les élèves et le logiciel, en ne prenant en compte que son aspect "outil", concernant les icônes graphiques et les commandes.

Comme nous l'avons avancé dans le préliminaire à l'analyse de cette activité, nous partons de l'hypothèse qu'elle est fondamentalement différente de l'activité précédente (semi-guidée), ne serait-ce que par la détermination à l'avance d'un but à atteindre; cette différence influera sur la signification que les élèves peuvent attribuer à chacune des procédures ou des commandes impliquées.

Une telle hypothèse est soutenue, par ailleurs, par des résultats de recherches en ergonomie : "Les relations établies entre les unités du fait de leur association dans un même travail et de leur orientation par le but de ce travail transforme effectivement ces unités [...], entraînant la nécessité de cette deuxième phase de restructuration, la plus difficile sans doute." (Bisseret 1970, p.637). C'est pour cela, que, dès le départ, et malgré le fait que l'activité "Pavé" intervient, sans transition, juste après la "construction semi-guidée" d'un pavé, nous avons supposé que les élèves ne parviendront pas à établir un transfert direct entre les faits observés dans l'activité précédente et les objectifs à réaliser dans l'activité présente. Un travail mental important accompagnera ce passage d'un mode de fonctionnement observé à un mode d'utilisation à découvrir.

Un tel travail de construction prendra, pourtant, appui sur les faits déjà observés mais non suffisamment structurés; dans ce cas, la mémoire jouera un rôle dans l'identification des opérations à réaliser, et dans la construction de relations des deux types :

"opération ---> effet" et "but ---> opération". Ainsi, dans les dialogues des élèves, on trouve souvent des répliques du type : "*tu te rappelles ? quand on a cliqué sur ça (icône ou commande), l'ordinateur nous a donné*" ou du type : "*mais tout à l'heure, comment on a fait pour..... ?*". De telles questions, posées lors de la recherche d'une opération élémentaire pouvant amener un résultat précis, se situent, en fait, par rapport à un processus plus poussé d'élaboration d'une procédure, à travers la structuration des informations trouvées : "L'élaboration d'une procédure de traitement, devant une tâche prescrite, se réalise par l'actualisation d'une partie de la mémoire sémantique qui permet la structuration de la tâche. Cette structuration porte indissociablement sur les données à traiter (représentations) et sur les opérations à réaliser (traitements)." (Hoc, 1981). Bisseret parle, de ce point de vue, de "mémoire opérationnelle"

pour signifier qu'elle est "organisée, structurée par les processus de travail, eux-mêmes déterminés par le but du système" (Bisseret, 1971)

Parmi les différents aspects de l'interface du logiciel, l'analyse suivante s'occupera de l'évolution des représentations qu'ont les élèves de la fonction et du fonctionnement de trois procédures graphiques : "Rectangle" (icône n°1), "Prisme" (icône n°4) et "Cotation" (icône n°8), les trois principales qui entrent en jeu. Leurs effets ont été observés et formulés par les élèves au cours de l'activité précédente, leur logique d'utilisation doit être construite au cours de l'activité présente.

Dès le début de l'activité, et comme nous l'avons noté dans l'analyse des algorithmes de solution, le souci principal des élèves était de communiquer à la machine les informations numériques du problème; ce but a conditionné, au départ, le sens qu'ils attribuaient aux différentes procédures, à un tel point que leurs actions révélaient des représentations parfois différentes, voire contradictoires avec ce qu'ils avaient formulé au cours des deux activités précédentes ("icônes" et "construction guidée"). Ainsi, on peut expliquer l'interaction étroite entre les représentations de "Cotation" d'une part, et de "Rectangle" et "Prisme" d'autre part.

a) "Cotation"

Trois représentations différentes de la fonction de cette procédure sont apparues, selon les sous-buts courants des élèves :

i) Pour communiquer les dimensions d'un objet géométrique avant, ou au cours de sa construction :

D'entrée, Olivier et Stéphane sélectionnent "Cotation" :

((Olivier, Stéphane); 1,a)

S: comment on fait les mesures?... (silence)....avec ça? (icône "Cotation").... la cote; oui;

O: non, c'est pas ça, c'est pas un rectangle

S: mais si, tu mesures avec le même...

Un autre exemple peut illustrer cette même représentation, chez le binôme (Eric, Serge); elle est apparue après la première phase de construction, où les élèves avaient rempli leur objectif d'introduire les valeurs de la longueur et de la largeur, mais...

((Eric, Serge); 2,a)

E: mais j'ai pas fait la hauteur

S: ça, je pense; avec ça, là (icône "Cotation") on fait les dimensions

Une telle représentation est significative au niveau des mécanismes de passage, de la logique du fonctionnement à la logique d'utilisation, la première étant déductible dans le sens :

procédure ---> résultats, la deuxième étant à construire selon le sens :
but (ou sous-but) ---> procédures.

Schématisons la construction d'un objet par la réalisation de deux conditions liées par une conjonction : C1 et C2, C1 désignant la nature de l'objet, et C2 désignant ses dimensions.

Dans la conception du logiciel Mac Space, l'introduction des dimensions de l'objet se fait au cours de sa construction; celle-ci doit être auparavant déclenchée par l'activation de l'icône graphique correspondante, représentant sa nature géométrique. Le logiciel attribue donc la primordialité à la nature de l'objet, donc, à la condition C1. Les élèves, par contre, voient dans l'introduction des valeurs numériques l'aspect le plus important de la résolution du problème. Pour eux, la condition C2 est primordiale.

D'autre part, lors de l'observation des effets de fonctionnement, et surtout sans avoir un but précis à réaliser, l'effet correspondant aux mesures est moins remarqué que celui correspondant à la nature de l'objet : comme nous l'avons vu à travers leurs formulations de l'activité précédente, les élèves notent surtout le résultat graphique, sans attribuer beaucoup d'importance aux caractéristiques numériques.

Ainsi, si on reprend l'exemple du binôme (Olivier, Stéphane), dont le sous-but était de construire un rectangle (condition C1) de dimensions [15,13] (condition C2), on remarque que les deux élèves n'avaient pu construire, au cours de l'activité semi-guidée, aucune relation entre ce qu'ils ont noté : *"des coordonnées ont défilées"* et les mesures du rectangle en cours de construction. Donc, pour eux, la procédure "Rectangle" n'est pas suffisante pour la réalisation simultanée des deux conditions. Puisque la condition primordiale se rapporte à des mesures, Stéphane a proposé l'icône n°8 *"les cotes"*; en effet, cette procédure "sert à donner les dimensions des côtés sélectionnés" (leur formulation, "activité semi-guidée"), donc elle permettrait d'établir un certain rapport avec les dimensions. Malgré l'hésitation de O., exprimant que la condition C1 risque de ne plus être vérifiée *"ce n'est pas un rectangle"*, c'est la proposition de Stéphane qui l'emporte, en se basant sur le fait que la figure polygonale que représente l'icône "Cotation" peut représenter, dans des cas particuliers, un rectangle; en plus, *"tu mesures avec le même (il veut dire : la même icône)"*.

Cette analyse reste valable pour l'exemple du binôme (Eric, Serge) En fait, l'interaction entre les deux membres de ce binôme aura, le long de l'activité, une importance particulière, car chacun d'eux appartenait à un binôme différent. A cause de l'absence de leurs partenaires, ils travaillent occasionnellement ensemble. Au départ, les deux élèves avaient des représentations différentes des procédures : en ce qui concerne la procédure "Rectangle", l'ex-binôme de Serge n'avait rien mentionné à propos des caractéristiques numériques modifiables au cours de la construction; quant à la procédure "Cotation", il l'a interprétée par : "Pour dessiner les dimensions des côtés". C'est ainsi qu'on peut interpréter sa proposition de l'utiliser pour introduire la hauteur du pavé.

ii) Pour modifier les dimensions d'un objet préconstruit :

Cette représentation est aussi apparue chez les deux binômes (Olivier, Stéphane) et (Eric, Serge)...

Chez (Eric, Serge) (en fait, chez S.), cette représentation est apparue dès le début, au cours de la première phase de construction :

((Eric, Serge); 1,b)

E: mais.... attends; x, c'est la.... euh.... 15, pour la longueur.... voilà.... voilà, 15,

S: non, mais, après, je crois qu'on peut changer

E: ensuite, y, 13

Derrière cette proposition de S., transparaît la représentation initiale de son ex-binôme, à propos de la procédure "Cotation" : "Pour changer les dimensions des côtés" (dans l'activité "icônes"). Une telle représentation n'a pas été mise en œuvre, à cause de l'opposition d'Eric., basée sur la représentation qu'il se faisait du fonctionnement de l'icône "Rectangle", qui intégrait la possibilité de contrôler les dimensions.

Chez (Olivier, Stéphane), elle est apparue en réaction au premier message d'erreur (schéma 1) signifiant que leur première représentation n'est pas adaptée :

((Olivier, Stéphane); 2,a)

O: on n'a pas su comment on dessine; ben, on en dessine un au pif, puis après...

S: avec ça (icône n°8)

O: avec ça on change les cotes

S: oui, mais ça va être du tâton

O: ben oui, on est obligé

Cette deuxième représentation de la procédure "Cotation" rétablit, en quelque sorte, l'ordre de priorité entre les deux conditions C1 et C2 : puisqu'il est impossible de commencer par l'introduction des données numériques, on peut réaliser d'abord la condition C1, relevant de la nature géométrique de l'objet à construire, puis modifier les dimensions, donc, réaliser la condition C2.

iii) Pour contrôler les dimensions d'un objet construit :

Cette représentation est apparue, et a été mise en œuvre, par le binôme (Eric, Serge); elle est le résultat d'une évolution à travers les actions précédentes, basées sur les deux représentations précédentes, et des réponses observées de la machine :

((Eric, Serge); après 2)

E: 15, 13; on s'est planté;... ah non, c'est bon, c'est ça...

Les élèves avaient appliqué la fonction "Cotation" dans le but d'introduire la valeur de la hauteur du pavé. Le résultat n'étant pas compatible avec leur attente, la première réaction était de considérer qu'il s'agissait d'une erreur "on s'est planté". Mais, puisque le résultat numérique affiché à l'issue de la procédure était cohérent avec les dimensions imposées du rectangle de base, la procédure a pris alors un statut de moyen de contrôle : elle peut servir à vérifier la correction des caractéristiques numériques des objets géométriques construits, et elle sera désormais utilisée pour cette finalité. En effet, ayant abouti à une représentation graphique d'un pavé (état E2), les élèves ont terminé en appliquant "Cotation" sur les trois vues, avec l'intention explicite de vérifier leur construction (procédures n°4,5,6)

Cette troisième représentation de la procédure "Cotation" comme un moyen de contrôle est aussi apparue chez le binôme (Olivier, Stéphane); mais elle n'a pas été mise en œuvre, par manque de temps. En effet, à la fin de l'activité, et après avoir abouti à un résultat graphique (état final) qui semble vérifier les contraintes de la tâche, Olivier proposa :

((Olivier, Stéphane); à la fin)

O: on voit si les mesures sont bonnes ? clique ça (il indique l'icône "Cotation")

Si cette dernière représentation de la procédure "Cotation" a été amenée, chez (Eric, Serge) par une évolution assez claire, résultant de l'interaction entre les attentes des deux élèves et les résultats obtenus à chaque application, nous pensons que ce n'est pas le cas chez (Olivier, Stéphane). En fait, la représentation du rôle que peut avoir la procédure était trop lié aux sous-butts courants des deux élèves, sans distinction nette du partage des tâches

entre eux, comme utilisateurs, et la machine. Ceci révèle dans leur activité une conception anthropomorphique accentuée; d'ailleurs, on peut détecter cette non-distinction des rôles machine/utilisateur dans leur formulation à propos de la procédure "Cotation" : "sert à donner les dimensions des côtés sélectionnés" (activité semi-guidée); elle est traduite par l'ambiguïté du mot "donner", et du sens dans lequel devrait s'effectuer la communication entre machine et utilisateur : est-ce un moyen pour que l'utilisateur puisse donner à la machine les informations concernant les contraintes numériques du problème ? ou est-ce un moyen pour que la machine donne de telles informations ? le long de l'activité de ce binôme, c'étaient les sous-buts instantanés qui mettaient en œuvre l'un ou l'autre des deux rôles attribués à la procédure : dans la procédure n°1, elle répondrait au premier sous-but, mais la réponse de la machine mène à son abandon; dans la dernière suggestion de Olivier elle répondrait au deuxième.

b) "Rectangle"

Les représentations ayant guidé l'action des élèves avec cette procédure sont intimement liées à celles de la procédure "Cotation". Au niveau de l'action, deux aspects principaux du fonctionnement de "Rectangle" sont à étudier : la définition sous-jacente de l'objet géométrique rectangle (défini par deux sommets opposés), et le contrôle des dimensions du rectangle en cours de construction.

Notons que le premier aspect a été longuement expérimenté; en effet, de ce point de vue, le logiciel Mac Paint, longuement utilisé au cours des situations précédentes, adopte la même définition du rectangle. D'ailleurs, dans la plupart des formulations des élèves (activités "icônes" et "semi-guidée"), ce fait a été relaté : "*en plaçant deux point ses extrémités*" ((Olivier, Stéphane)), "*je donne deux points et l'ordinateur me trace le rectangle*" ((David, Rachel), activité semi-guidée), "*sert à faire un rectangle en donnant les deux points extrêmes*" ((David, Rachel), activité "icônes"). Pourtant, et malgré sa stabilité relative, cette représentation a été modifiée par la nécessité de communiquer à la machine les données numériques du problème, comme nous le verrons chez (David, Rachel), d'après une des trois représentations différentes de la procédure "Rectangle", apparues le long de l'activité des élèves :

i) Représentation "crayon-règle" :

Dans leur description de la procédure "Rectangle", au cours de la phase de construction semi-guidée, David et Rachel n'avaient rien mentionné à propos de la modification dynamique des coordonnées; ils n'avaient donc établi aucune relation entre ce phénomène et les caractéristiques numériques du rectangle en cours de construction.

Dans la situation présente, la nécessité d'introduire les données numériques du problème les ont incités à attribuer une signification à ces nombres qui varient dynamiquement dans la fenêtre de communication, signification qui puisse intégrer ces données.

((David, Rachel); 1,c)

D: tu vas comme ça jusqu'à 15 ?

R: oui

D: mais c'est quoi, ces chiffres?

R: ben, ça doit avoir une.... ça doit être ou la longueur ou la largeur... parce que la hauteur, il nous la demande après

Juste après la sélection de l'icône "Rectangle", Rachel cherchait à atteindre, en déplaçant horizontalement le curseur, à l'ordonnée nulle, la valeur $x=15$. En effet, sa première idée des nombres variables est qu'ils doivent représenter les mesures des côtés du rectangle; cette idée n'est plus cohérente avec leur représentation initiale, définissant un rectangle à partir de deux sommets opposés, définition selon laquelle le parcours du curseur ne se fait pas le long des côtés, mais le long de la diagonale.

On peut toucher, ici, l'effet du jeu de cadres entre le géométrique, le numérique et l'informatique : les élèves partent d'une conception initiale qui définit le rectangle par deux sommets opposés (cadre géométrique) et qui attribue à la procédure "Rectangle" la fonction de construire un rectangle à partir de deux points qui en seront les sommets (cadre informatique). Confrontés aux contraintes du problème (relevant du cadre numérique), cette conception initiale est déstabilisée dans les deux cadres précédents car, dans les limites des connaissances des élèves, elle ne permet pas de répondre à ces contraintes. Une autre conception la remplace, se projetant dans les deux autres cadres : un rectangle est défini (cadre géométrique) par deux côtés consécutifs déterminés par leurs directions et leurs mesures (cadre numérique). Il est réalisable au sein du logiciel (cadre informatique) en parcourant avec le curseur les deux côtés consécutifs.

C'est le résultat non désirable de la mise en œuvre d'une telle conception (du cadre informatique) qui remettra en cause, encore une fois, ses projections dans les deux autres cadres... et ainsi de suite.

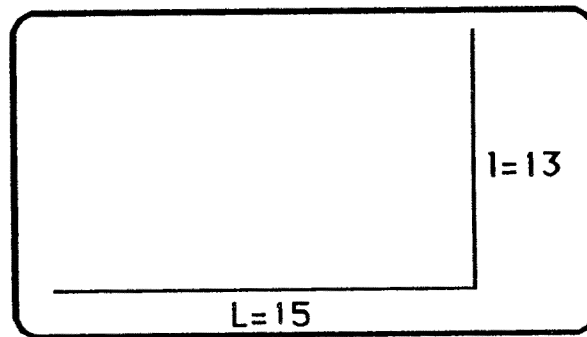
Dans l'action accomplie par Rachel, on retrouve la technique classique de prise de mesure à l'aide d'une règle et d'un crayon : le curseur est identifié à la pointe d'un crayon, et le défilement des valeurs de x au parcours d'une règle graduée. Rachel pensait pouvoir communiquer à la machine l'information : "longueur = 15" en parcourant avec le curseur

une distance de 15, puis en appuyant sur le bouton de la souris. Ceci fait, elle cherche à atteindre la valeur 13 ($y=13$) dans la direction perpendiculaire :

((David, Rachel); 1,d)

R: et maintenant, il faut que j'aie 13 de l'autre côté

Pour ce binôme, le rectangle serait donc défini par la donnée des directions et des mesures de deux côtés perpendiculaires.



ii) Représentation "deux sommets opposés", n'intégrant pas les mesures :

C'est par exemple la représentation de départ du binôme (Olivier, Stéphane); elle est révélée par leurs deux essais : le premier consistant à utiliser "Cotation" car "Rectangle" ne sert qu'à dessiner un rectangle sans possibilité de régler ses dimensions; le deuxième consistant à utiliser "Rectangle", puis régler les dimensions à l'aide de "Cotation". C'est aussi la représentation de Serge (binôme (Eric, Serge)), d'après sa réplique : "*mais après, je crois qu'on peut changer*", au cours du réglage par Eric des dimensions du rectangle.

iii) Représentation "deux sommets opposés" intégrant les mesures :

C'est la représentation vers laquelle ont évolué toutes les autres, suite à la confrontation avec le mode de fonctionnement du logiciel. On la repère tout au début de l'activité du binôme (Eric, Serge) (procédure n°1), où elle a été soutenue par Eric, chez qui elle était assez stable pour ne pas être déstabilisée par les suggestions de Serge. En effet, dans sa formulation (activité semi-guidée), Eric explicite la relation entre les valeurs variables de x et de y , et les dimensions du rectangle en cours de construction : "chiffres d'en bas correspondent aux cotes du dessin, à l'échelle. chiffres deviennent positif ou négatif selon le rectangle".

Par contre, chez les deux autres binômes, une telle représentation a été amenée par la confrontation au logiciel d'autres stratégies, et par l'observation des faits :

((Olivier, Stéphane); 2,d)

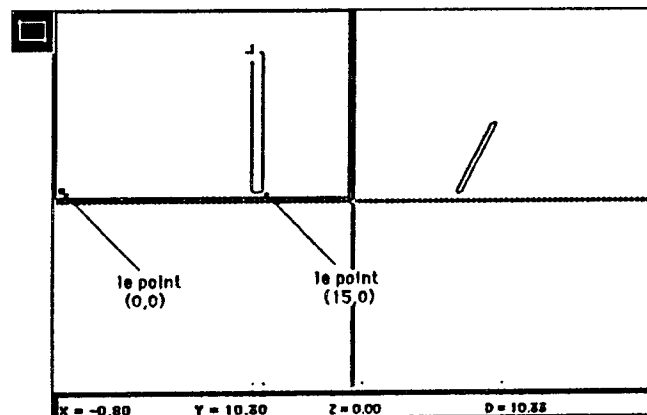
S: *eh! regarde; c'est marqué là.... qu'on est bête!*

O: *ah oui... c'est quoi?... x, ça doit être la longueur*

La relation entre les valeurs de x et y d'une part et les dimensions du rectangle d'autre part a ainsi été découverte au cours d'une procédure déclenchée avec des intentions différentes : par leur procédure n°2, les élèves envisageaient de dessiner un rectangle quelconque, puis de modifier ses dimensions à l'aide de "Cotation". Le but d'introduire les données numériques amena alors à attribuer du sens aux "coordonnées qui ont défilé" et à modifier la stratégie, à la base d'une nouvelle représentation de la procédure "Rectangle".

C'est aussi la confrontation au mode de fonctionnement (procédure n°1) qui a entraîné l'évolution de la stratégie de (David, Rachel), et la modification de leur représentation "crayon-règle".

Dès la validation du premier sommet selon cette dernière représentation (1,d), le graphisme accompagnant le déplacement du curseur n'est pas compatible avec leur attente (consistant à voir se tracer le côté horizontal du rectangle) : un rectangle est tracé d'emblée, dont la taille est variable avec le déplacement du curseur, coïncidant avec le sommet opposé;



d'autre part, l'ordinateur ne tient pas compte de la mesure faite au début ($x=15$), et c'est à eux de la régler à nouveau, à l'aide des valeurs de x et de y qui varient simultanément. Ainsi, les élèves ont attribué une nouvelle signification aux valeurs de x et de y : dès que le premier sommet est validé, ces deux valeurs jouent le rôle de mesures du rectangle courant; une telle signification relève de la représentation "deux sommets opposés", intégrant les mesures.

c) "Prisme"

L'analyse de cette activité (et des activités suivantes) a montré que l'utilisation de la procédure globale "Prisme" est moins naturelle que la construction "facette par facette", ou celle basée sur la logique du dessin technique. Nous étudierons l'évolution de sa logique d'utilisation de deux points de vue : sa fonction et son mode de fonctionnement.

i) **Construction de la fonction de "Prisme"**, comme moyen de résolution du sous-but : construction du pavé à partir de la facette préconstruite

Bien que les effets de la procédure "Prisme" aient été observés juste avant la proposition de la tâche présente (selon sa logique de fonctionnement), la procédure n'a pas été rapidement reconnue comme celle adaptée à la situation logique d'utilisation). Il a fallu que (Eric et S.) essayent l'icône "Cotation", et que (David et R.) passent par un algorithme "dessin technique" (cf. § Algorithmes III.1). Quant au binôme (Olivier, Stéphane), la construction par un algorithme "construction par facettes" a été suggérée, sans être mise en œuvre (cf. § algorithmes III.1). Dans les deux premiers cas, c'est la confrontation aux contraintes du logiciel et aux résultats non adaptés qui a poussé à la mobilisation de la mémoire opérationnelle, et à la recherche d'un moyen déjà utilisé, ayant abouti à la construction d'un pavé. Dans le troisième, c'est l'évocation de la "perspective", et l'effet "mémoire opérationnelle" qui a mobilisé une certaine connaissance, encore non structurée, du rôle que peut avoir la fonction "Prisme" :

(Olivier, Stéphane) :

(4,a)

S: il faut que ça, ça mesure 15

O: oui, alors on va choisir la longueur, ou un truc comme ça.... c'est une cote (par cote, il désigne les valeurs des coordonnées qui varient dans la fenêtre de communication) (ils règlent la position du curseur pour dessiner un rectangle dans la fenêtre de la vue de dessus)

S: non, il faut pas en dessiner un autre (il veut dire qu'il ne fallait pas dessiner un autre rectangle)

O: comment on fait pour faire la hauteur?

S: la hauteur, c'est la vue de..... non, la hauteur on l'a; c'est la longueur

O: et comment tu fais?

S: avec la vue de côté, bien sûr (ils sélectionnent la vue de côté)... (court silence) mais pour faire la perspective, c'est ça (il indique l'icône "Prisme")

Cette dernière réplique de Stéphane rappelle la représentation initiale, encore stable, de la fonction de la procédure "Prisme" que les élèves ont formulée au cours de l'activité "icônes" : "Pour faire une figure en perspective".

Dans cet extrait de dialogue on peut toucher au rôle important du langage utilisé au cours de l'interaction entre deux élèves du même binôme; les mots entraînés par leurs discussions amènent des chaînes d'associations qui mobilisent la "mémoire opérationnelle" : dans le cas présent, c'est le mot "perspective" qui a rappelé la procédure "Prisme", qui lui était associée comme outil : une telle association est basée sur le rôle important attribué par les élèves à "Prisme" comme outil faisant la différence entre les représentations du monde d'objets à 2 dimensions et de celui d'objets à 3 dimensions. Or, un tel passage est lié, pour eux, au fait de "*faire la perspective*".

Etudions maintenant les conditions de l'évolution chez chacun des deux autres binômes :

(David, Rachel) : Dès le début de l'activité, Rachel avait attribué deux statuts différents aux données numériques du problème : la longueur et la largeur d'une part, et la hauteur d'autre part. Le statut de cette dernière relève d'un souvenir (mémoire opérationnelle) du fonctionnement d'une procédure au cours de laquelle l'ordinateur affiche une requête d'information :

((David, Rachel); 1,c)

D: mais c'est quoi, ces chiffres?

R: ben, ça doit avoir une.... ça doit être ou la longueur ou la largeur... parce que la hauteur, il nous la demande après

Ce souvenir ne précise pas la procédure correspondante. Au cours de la deuxième phase de construction, et après la procédure 4 ayant donné lieu à l'état E2, elle reprit sa première idée, et essaye de retrouver la procédure au cours de laquelle l'ordinateur demande la hauteur; on retrouve, là, la prédominance de l'objectif de communiquer à la machine les données numériques.

Encore une fois, se révèle l'effet, sur l'évolution de la résolution du problème, qu'exerce le langage utilisé par les élèves pour exprimer une connaissance qu'ils éprouvent le besoin de représenter : pour définir un pavé droit, il est nécessaire de déterminer (donc de communiquer à la machine) ses trois données numériques. Deux de ces données étant déjà introduites, il reste le problème d'introduire la hauteur, dimension, qui donnera à l'objet sa caractéristique spatiale. La décision des élèves découle alors de l'association qu'ils font entre le mot "Hauteur" et la procédure "Prisme" comme outil pour donner à l'objet cette caractéristique.

Ce type d'associations dépassent donc l'acte de la parole pour avoir une portée sur les contenus conceptuels impliqués. D. Morange l'a d'ailleurs bien montré dans sa recherche, ayant pour objectif "d'analyser, dans une perspective dialectique, les rapports entre activités langagières et activités cognitives...[....]... Il apparaît en effet que l'activité verbale ne peut être analysée indépendamment des contenus représentés et communiqués, et de l'acte de parole auquel elle répond" (Morange, 1986).

((David, Rachel); 5,a)

R: tout à l'heure, tu te rappelles? c'est lui qui a demandé la hauteur

D: comment on a fait?

R: on a.... (silence) on a tapé sur le 4, là... ah oui... il va demander la hauteur, normalement...

(Eric, Serge) :

Pour ce binôme aussi, la construction du sens des différentes procédures était conditionnée par la recherche de moyens pour communiquer à la machine les données numériques. Ainsi, après leur tentative (procédure n°2) d'appliquer la fonction "Cotation",

((Eric, Serge); après la procédure n°2)

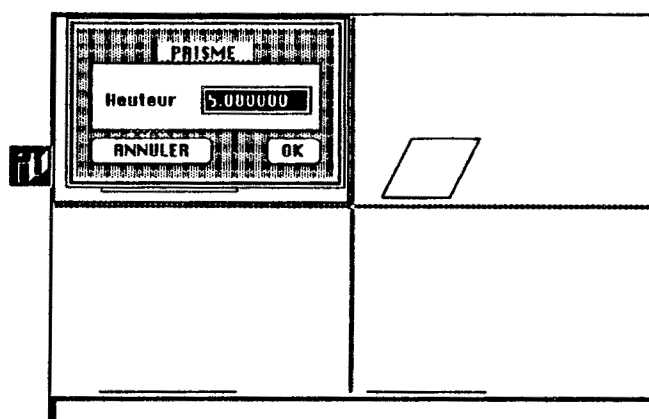
E: 15, 13; on s'est planté;... ah non, c'est bon, c'est ça... mais la hauteur.... il faudrait... comment on fait pour cliquer la hauteur, déjà?... c'est là, c'est...

L'expression d'Eric. : "*pour cliquer la hauteur*" indique la mobilisation de la mémoire opérationnelle, à la recherche d'un moyen déjà expérimenté, par lequel la valeur de la hauteur est communiquée d'une manière statique, contrairement à la manière dynamique par laquelle les deux autres données numériques (longueur et largeur) ont été introduites. De par cet effet mémoire, ils essayent la procédure "Prisme", faisant partie du répertoire de procédures déjà expérimentées, la seule qu'ils n'avaient pas essayée au cours de leur recherche.

ii) Construction du fonctionnement de "Prisme" :

A partir du moment où la procédure "Prisme" est reconnue comme répondant au sous-problème posé, son activation déclenche une séquence de dialogue, au cours de laquelle les élèves doivent faire des choix, selon le sens qu'ils attribuent aux requêtes d'informations de la machine. Pour connaître les principales étapes du fonctionnement de cette procédure, regarder Schéma III.6, § III du chap.III.

Dans l'analyse suivante, nous nous intéresserons à l'évolution du sens de la requête d'information "Hauteur", exprimée par l'état d'attente de la machine :



Rappelons d'abord un résultat de l'analyse de l'activité précédente, activité restreinte à l'observation des effets de "Prisme" et d'autres procédures : Parmi les formulations des 12 binômes étudiés, aucune n'a signalé la possibilité de modifier la valeur de la hauteur; nous avons lié ce fait à l'absence, dans la tâche, de contrainte numérique, d'une part, et à l'ambiguïté du message de requête, d'autre part.

Dans l'activité présente, le problème posé impose des contraintes numériques que le fait de communiquer à la machine, nous l'avons maintes fois remarqué, déterminait un sous-but dominant des élèves. Pour les trois binômes étudiés ici, analysons l'évolution du sens qu'ils attribuent progressivement à cette requête d'information :

(David, Rachel) :

La description qu'a donnée ce binôme du déroulement de la procédure "Pri." au cours de la construction semi-guidée rend compte de la valeur affichée de la hauteur comme un fait accompli, d'une manière purement descriptive : "prisme. hauteur : 5" . Dans la situation présente, la contrainte du problème imposée par la donnée de la hauteur du pavé à construire suppose, dès le début, un rôle éventuel plus dynamique de cet affichage : "*(x et y) ça doit être la longueur et la largeur.... parce que la hauteur, il nous la demande après "*

Au sein de la procédure "Pri..", et dès l'affichage de la requête "Hauteur" :

((David, Rachel); 5,b)

R: la hauteur est 5, et moi, il me faut.... 20... (silence)... comment on fait ? on peut pas la changer, celle-là?

D: je ne sais pas

R: si on pouvait la changer, ça change tout (après différentes manipulations, et avec l'aide de l'observateur, ils réussissent à modifier la valeur de la hauteur)

La valeur affichée de la hauteur est encore, pour les élèves, un fait accompli (*la hauteur est 5*); mais la prise de conscience de la distinction des rôles attribués : affichage ou affectation d'une valeur du côté de l'utilisateur, et volonté d'affecter une autre valeur du côté de l'utilisateur (*moi, il me faut 20*) les incite à évoquer la possibilité de changer la valeur de la hauteur affichée. De là, les essais de la modifier. Ces essais, résultant de la contrainte, ont abouti à l'attribution d'une signification à la fenêtre "Hauteur", beaucoup plus dynamique que celle qui lui a été attribuée par simple observation du déroulement des faits.

(Eric, Serge) :

((Eric, Richard); 3,b)

E: hauteur 5; bon, on va changer.... comment on fait pour changer la hauteur?

S: annuler

E: annuler?

Cet exemple illustre un aspect de l'ambiguïté du message de la machine; en effet, l'existence des contraintes numériques a favorisé l'évolution du sens de la fenêtre : d'un simple affichage, vers une demande qu'envoie la machine (ou au moins une possibilité qu'aurait l'utilisateur) d'introduire une valeur. Le problème revient donc à trouver le moyen pratique de cette affectation. Or, la possibilité de modification de la fenêtre numérique reste implicite dans le message; par contre, celui-ci offre deux options explicites : "OK" et "Annuler". "Annuler" en est la plus probable, si on veut affecter une valeur différente de 5.000.

En faisant l'expérience, les élèves découvrent que l'option "annuler" annule, en fait, l'activation de la procédure, et remet le système à l'état précédent; ils reprennent alors la procédure, en étant sûrs qu'aucune des deux options explicites ne répond à leur sous-but. Avec l'aide du maître, ils modifient la valeur de la hauteur.

(Olivier, Stéphane) :

Comme nous l'avons vu dans le § III.1, ce binôme avait effectué plusieurs réalisations de la 2^o phase de construction, avec l'utilisation de la procédure "Prisme". A travers ces réalisations, et en interaction avec les anticipations des élèves, leurs attentes et les résultats qu'ils obtenaient, la signification qu'ils attribuaient à la requête "Hauteur" a évolué :

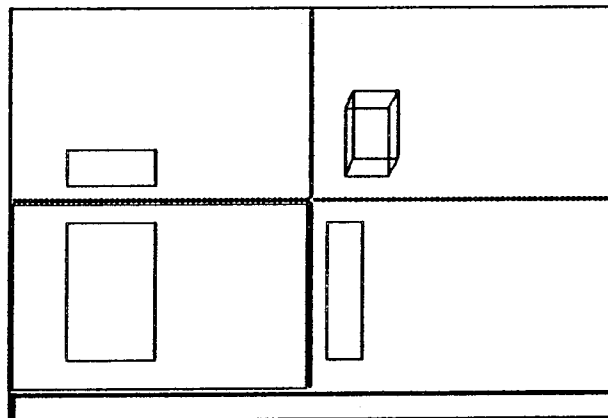
signification non fonctionnelle (ou non-fonction) de la requête "Hauteur" :

La première utilisation de "Prisme" se situe à leur procédure n°4 : à la base d'une facette frontale (représentée dans la fenêtre de la vue de face), ils activent la procédure "Prisme" au sein de la fenêtre de la vue de côté; leur souci est de voir défiler les valeurs de la "longueur", symbolisée selon leur représentation du système par x. Nous pouvons alors déduire qu'ils ne s'attendent pas à une possibilité, offerte par la machine, d'introduire la valeur de la hauteur au cours de la séquence de dialogue "Prisme".

A la requête intitulée "Hauteur", ils répondent par "OK"; ce choix s'aligne avec leur représentation de la fonction (ou de la non-fonction) de cette requête, révélée par l'activité précédente. L'option "OK" n'est sélectionnée que pour faire avancer la procédure, elle n'exprime pas une confirmation de la valeur affichée; d'ailleurs, aucune des données numériques du problème ne vaut 5.

La hauteur, comme mesure des côtés verticaux du pavé :

La deuxième utilisation de "Prisme", réalisée par la procédure n°6, donnera un résultat de nature différente, de par le fait que sa réalisation a été effectuée sans changement de fenêtre de traitement.



Il faut noter que ce résultat n'était pas non plus compatible avec les attentes des élèves; encore plus, il est l'aboutissement d'une procédure que les élèves avaient l'intention d'annuler :

((Olivier, Stéphane); 6,b)

S: sélection OK

O: hauteur... qu'est-ce qu'on a à f... de la hauteur?

S: ben, annule.... (Olivier avait déjà sélectionné OK pour voir) OK... regarde !... c'est un prisme !... on n'aurait pas dû dire OK

O: il fallait changer la hauteur

S: ben, refais

Ce passage indique l'apparition d'un problème lié à la représentation que fait le logiciel de l'espace à trois dimensions, et à l'anisotropie de cet espace lors de l'utilisation de la procédure "Prisme". Les élèves considèrent l'intitulé "Hauteur" comme non compatible avec la situation; en effet, la valeur de la hauteur a déjà été communiquée au cours de la construction de la facette frontale; d'autre part, ils ont plutôt besoin de communiquer à la machine la valeur de la "longueur".

A cause de ce problème les élèves évaluent comme non-adaptée la procédure courante. Chacun d'eux propose une des options explicites : "OK" pour voir de toute façon ce qui se passera, "Annuler" pour essayer autre chose ou, peut-être, pour voir s'afficher quelque chose d'autre que "Hauteur" (?).

Le résultat non attendu eut un double effet : Rassurer les élèves de l'adaptation de la procédure "Prisme" à la situation, et évoquer une nouvelle signification probable à la requête d'information "Hauteur" : elle doit probablement permettre de modifier la valeur affichée de la hauteur "*on n'aurait pas dû dire OK..... il fallait changer la hauteur*"

La troisième utilisation de la procédure "Prisme" suivit, procédure n°7 : face à la requête "Hauteur",

((Olivier, Stéphane); 7,b)

O: mais c'est pas la hauteur qu'on cherche; la hauteur, on l'a là

S: peu importe.... autant que ça marche

O: 5, annuler

S: mais "annuler", c'est pas corriger

O: il faut changer la hauteur; c'est quoi la hauteur qu'il fallait prendre?

S: j'en sais rien

O: mais c'est marqué hauteur 5

S: ...[...].... (silence)... euh... ce qui compte, c'est ce chiffre-là (dans la fenêtre numérique noircie)... va là; on va essayer de changer

Deux problèmes sont présents dans cette séquence de dialogue : le premier concerne la signification de la requête "Hauteur", le deuxième concerne la méthode de modification de la valeur affichée par défaut.

Pour le problème de la signification de cette requête, la réplique : "*mais "annuler", c'est pas corriger*" est intéressante : elle révèle que les élèves attribuent à cette fenêtre de dialogue la signification d'affichage d'un fait accompli, non celle d'une requête d'information de la part de l'ordinateur. En effet, leur réaction est de chercher à corriger une valeur affichée (surtout qu'elle est non nulle), non de répondre à une requête.

Quant au problème de la méthode de modification, on retrouve là un résultat déjà repéré chez tous les binômes. Encore une fois, on touche à la prédominance des options explicites dans la fenêtre de dialogue, par rapport à la possibilité implicite de modifier la valeur affichée de la hauteur. Un obstacle pratique, relevant du matériel informatique, renforce cette prédominance : pour modifier la valeur de la hauteur, il faut penser à utiliser le clavier, encore jamais utilisé au sein de Mac Space pour d'autres raisons que l'enregistrement des documents (niveau gestion de fichiers). Toutes les opérations graphiques et de sélection s'effectuaient, jusque-là, à l'aide de la souris. Une sorte de contrat actionnel s'était alors établi entre le élèves et la machine, éloignant encore d'un pas la supposition que la modification de la valeur affichée soit permise, voire exigée par la machine, pour qu'elle donne le résultat graphique attendu.

Quant au deuxième problème, la requête "Hauteur" mobilise la valeur de la hauteur comme elle figure parmi les données numériques du problème, non comme elle est interprétée par le logiciel. A ce point de l'évolution de leurs représentations, les élèves attribuent à "Hauteur" la signification d'une requête permettant de communiquer à la machine la mesure du côté vertical du pavé. Comme leur construction se fait au sein de la fenêtre de la vue de face, cette signification n'est pas compatible avec la représentation des données imposée par le logiciel : "Hauteur" désigne la mesure de la génératrice d'une surface prismatique à construire à la base de la facette préconstruite.

Un conflit s'instaurera désormais entre l'intitulé de la requête "Hauteur" et la donnée numérique qui reste à communiquer à la machine (15, valeur de la longueur). Pour résoudre un tel conflit, tout en complétant la construction dans la même fenêtre (celle de la vue de face), les élèves doivent arriver à concevoir un espace relatif lié à un pavé de hauteur 15, dont la base est de dimensions [13,20]. Un tel pavé doit être représenté après une rotation dans l'espace qui fasse de sa base une face frontale. Une telle conception exige un travail mental important, et une représentation élaborée de l'espace.

((Olivier, Stéphane); 10,b)

O: 15... la longueur... pourquoi il met encore la hauteur?

S: donc, c'est pas la hauteur qu'on a fait

O: oui, tout à l'heure c'était pas la hauteur ce qu'on a marqué

S: alors, on va corriger; on va mettre une hauteur de.... de 20

O: oui, mais ça va être faux, l'autre (le côté vertical de la face déjà dessinée); on l'a pris pour la hauteur, l'autre truc

S: en fait, on se trompe tout le temps... ce qu'il fallait faire au début, c'est la longueur et la largeur, et pas la hauteur

O: oui; en fait, lui, il marque tout le temps la hauteur... mais normalement, ça doit être la hauteur, ça (le côté vertical de la face déjà dessinée); et il marque que c'est pas la hauteur... là... tout à l'heure, on a choisi le.... le côté qu'il y avait là, on a cru que c'était la... la hauteur, et en fin de compte, ça doit être la longueur

S: il faut travailler sur la vue de dessus, pour faire la longueur et la largeur

O: oui, ça doit être ça; après, on fait la hauteur

S: oui; de toute manière, il marque toujours la hauteur

La stratégie des élèves a finalement été d'éviter ce conflit, apparu au cours de plusieurs réalisations, en décidant d'adopter la fenêtre de la vue de dessus comme fenêtre de traitement : ainsi, la requête d'information "Hauteur", affichée à chaque fois que la la procédure "Prisme" est déclenchée, sera compatible avec la position du pavé en cours de construction; en même temps, les valeurs de la longueur et de la largeur seront communiquées, comme elles doivent normalement l'être, au sein de la fenêtre de la vue de dessus.

III.4. Conclusion

Un double objectif a guidé la construction de la situation-problème analysée :

- confronter les élèves à une situation de résolution de problème à l'aide du logiciel utilisé. Cette résolution doit passer par la construction de la logique d'utilisation d'un ensemble des fonctionnalités du logiciel, dont les effets et le mode de fonctionnement ont été observés au cours d'une situation précédente;
- confronter les élèves à un espace particulier, régi par un système de référence, à travers leur confrontation à au moins une fenêtre de traitement. Ce dernier objectif vise, en fait, à déclencher un processus qui se poursuivra dans les activités suivantes; c'est le processus de construction progressive par les élèves de l'espace du logiciel et du système de repérage sous-jacent.

Tous les élèves ont réussi, à la fin de la séance, à construire le pavé ayant les caractéristiques demandées. Après avoir tenté différentes stratégies (facette par facette, dessin technique,) tous les élèves ont fini par utiliser la procédure "Prisme", au sein de la

fenêtre de la vue de dessus. Cet aboutissement est passé par le dépassement d'autres procédés plus spontanés ou mieux stabilisés par leur efficacité dans d'autres circonstances. De tels procédés, basés sur des conceptions qui se trouvent non adaptées aux circonstances actuelles, ont fonctionné comme des obstacles à dépasser pour aboutir à la solution. Récapitulons ces obstacles :

1- la prégnance de la vue de face, comme vue représentative de l'objet : cette caractéristique a incité des élèves à commencer par la construction de cette vue. Un tel début mène à une incompatibilité avec la requête d'information "Hauteur" au sein de la séquence de dialogue. Le dépassement d'une telle incompatibilité doit se faire par l'une de deux évolutions (cf. l'activité de (Olivier, Stéphane)) :

- * l'abstraction du mot "Hauteur", et sa généralisation aux trois directions principales de l'espace, en lui attribuant une signification de mesure de la génératrice de la surface prismatique. Une telle évolution n'a pas été réalisée;

- * l'abandon de la vue de face pour la vue de dessus. Cette évolution a été amenée par les contraintes du logiciel d'une part et d'autre part par un effet "mémoire opérationnelle" qui se manifestait par la mobilisation d'effets observés ou d'actions réalisées au cours de l'activité semi-guidée.

2- les connaissances et pratiques dans le domaine du dessin technique : mobilisées par l'organisation spatiale de la page de dessin de Mac Space et par l'utilisation d'un certain langage faisant référence à ce domaine, elles se sont dressées comme obstacle à la construction d'une connaissance relative à la procédure de construction globale (à l'aide de la procédure "Prisme"). L'adoption de telles pratiques débouche sur le cheminement suivant (cf. l'activité de (David, Rachel)) :

- * les résultats graphiques progressifs ne sont pas adaptés aux attentes : dessiner une vue ne dessine qu'une face de l'objet, à un niveau de traitement défini (par défaut nul). La stratégie évolue alors vers une construction "facette par facette";

- * cette dernière stratégie s'avère d'abord coûteuse car elle nécessite six constructions distinctes, puis impossible car les élèves ne possèdent pas de moyen pour résoudre le problème des niveaux de traitement en vue de coordonner les faces construites ou en cours de construction.

3- un troisième obstacle s'est avéré assez stable : celui qui se manifeste par le changement de fenêtre pour la réalisation de la troisième dimension de l'objet, les deux premières ayant été réalisées au sein de la première fenêtre. Cet obstacle révèle la prégnance du "perçu", et son influence sur le "conçu" : selon une direction d'observation particulière, les élèves conçoivent les dessins existants comme étant "écrasés" sur un plan.; selon cette direction, la troisième dimension disparaît, car les dénivellations selon la normale ne sont pas perçues.

Ainsi, pour les concevoir, il faut les percevoir, ce qui n'est possible que par un changement de direction d'observation. Au sein de Mac Space, ceci est réalisable par un changement de fenêtre. Ce dernier, associé à l'application de la procédure "Prisme", aboutit à des résultats graphiques non compatibles avec les attentes des élèves (cf. les résultats "rectangles coplanaires" de (Olivier, Stéphane)).

En ce qui concerne la construction progressive des propriétés analytiques de l'espace du logiciel, les élèves sont arrivés à la construction d'une signification au défilement des coordonnées dans la fenêtre de communication, au moins comme coordonnées-mesures. La règle d'action que tous les élèves ont utilisée est de faire correspondre le moment de validation du deuxième sommet du rectangle avec celui où les valeurs de x et de y sont égales aux dimensions du rectangle à construire. La signification ainsi construite est caractérisée par une conception dynamique du système de coordonnées, liée au déplacement du point courant, par opposition à la conception statique acquise par les cours classiques sur ce thème. Selon une telle conception, ont été construits les sens d'orientation des déplacements parallèlement aux axes du repère, en fonction de la croissance ou la décroissance des valeurs des coordonnées (ici relatives).

David et Rachel ont, en plus, pu attribuer aux nombres défilant dans la fenêtre de communication leur signification comme coordonnées-repères, au cours de la phase de construction située avant la validation du premier sommet. Selon cette signification, ils ont mené une recherche basée sur des connaissances concernant le repérage plan, pour structurer le plan de la fenêtre en fonction du signe des valeurs défilantes. Cette structuration les a amenés à situer le point-origine du repère, selon une conception aussi dynamique : c'est le point pour lequel les coordonnées s'annulent, en passant du positif au négatif, ou inversement.

D'un autre point de vue, l'analyse de l'activité des élèves a conforté notre hypothèse de départ d'une interaction et évolution concomitante entre :

- * les connaissances des élèves, relatives aux procédures disponibles au sein du logiciel, leurs fonctions et leur mode de fonctionnement;
- * leur représentation du but graphique à atteindre et des étapes de sa réalisation. Cette dernière est en interaction avec la connaissance des propriétés géométriques de l'objet et la structuration de son espace.

Les significations qu'attribuent les élèves aux unités informationnelles au sein d'une procédure particulière sont liées aux contraintes de la tâche et au sous-but qu'ils visent à atteindre (par exemple, le défilement des coordonnées a acquis son sens en fonction des mesures imposées du pavé à construire). Quant à la signification de la requête d'information

intitulée "Hauteur", un conflit a été repéré chez les élèves (surtout Olivier et Stéphane) entre sa nomination, fixant une direction verticale, et sa signification plus généralisée au sein du logiciel. Ce conflit s'est manifesté, par exemple, par la construction d'un pavé [13,20,20] (Olivier, Stéphane).

Finalement, d'après le déroulement de l'activité des élèves, nous pouvons mettre en évidence un résultat principal qui peut nous engager sur d'autres hypothèses plus générales, concernant l'initiation et la formation préalable à l'utilisation pour l'enseignement de l'outil informatique : on l'a bien noté, l'observation par les élèves des effets de fonctionnement au cours de l'activité semi-guidée n'a pas amené à une résolution immédiate du problème, même au moins au niveau de la reconnaissance des outils adaptés à chacune des réalisations. Un processus complexe de structuration de ces connaissances a été indispensable, son moteur principal étant, d'une part, les contraintes du logiciel, et d'autre part les contraintes de la tâche et l'existence d'un but à atteindre, annoncé à l'avance.

Donc, lorsque la résolution des problèmes posés doit se faire au niveau du fonctionnement du dispositif, la phase d'initiation et de familiarisation avec le logiciel utilisé doit être étudiée et intégrée au sein même de la séquence, comme faisant partie du processus général d'acquisition de connaissances visées. La construction des connaissances à propos des possibilités et de la logique d'utilisation du dispositif se construit en étroite interaction avec la résolution du problème posé. A plus forte raison, un exposé ou une démonstration (par l'ostension) des règles élémentaires de fonctionnement ne pourra être de grande utilité.

Chapitre V

Construction d'assemblages de cubes avec Mac Space Un mode particulier d'accès à l'espace

I. Analyse de la tâche

I.1. Objectifs :

La tâche présente aide à renouer avec les deux premières activités de la séquence ("simulation" et "arêtes cachées"), à travers le retour au même monde d'objets : celui des assemblages de cubes.

1) La liaison avec la première activité ("simulation") est assurée par :

- * la nature de la tâche, qui consiste à produire un dessin dans un espace graphique initialement vide (par opposition à l'activité "arêtes cachées" qui consiste en un traitement d'un dessin de départ, constituant l'état initial de l'espace graphique);

- * la nature des objets à représenter, assemblages de cubes où, probablement, le cube sera considéré à première vue comme l'unité constitutive à produire et à reproduire. Une telle représentation de l'objet mobilisera les pratiques acquises au cours de l'activité "simulation", et réalisée au sein de Mac Paint (copier-coller).

Un **objectif** de la situation-problème actuelle est d'analyser les processus d'adaptation de ces pratiques, une fois confrontées aux contraintes du nouveau logiciel et de sa représentation de l'espace. Cet objectif s'étend à l'étude de la construction de nouvelles procédures qui tendent à être de plus en plus compatibles avec le fonctionnement du logiciel. Cette compatibilité ne pourra être atteinte sans la confrontation à des problèmes relevant du système de référence du logiciel et des modes d'accès aux différents composants de la représentation graphique.

2) La liaison avec la deuxième activité ("arêtes cachées") est assurée à travers la représentation de l'espace par le logiciel et le type de repérage sous-jacent :

* La structuration de l'espace instaurée par cette activité marque un premier pas vers la structuration de l'espace sous-jacente au fonctionnement de Mac Space. En effet, la structure du réseau de plans équidistants, mise en évidence par cette activité, est cohérente avec la représentation stratifiée de l'espace selon laquelle le logiciel est conçu. Dans le cas d'objets comme les assemblages de cubes, le réseau de plans équidistants matérialisés n'est autre qu'une sous-structure de cette représentation stratifiée, un cas particulier où le réseau est régulier et discret.

Un **objectif** de la situation-problème actuelle est de confronter les élèves à cette structuration, par un nouveau mode d'accès aux composants de la représentation graphique, régi par les contraintes du logiciel. Ce nouveau mode d'accès, expliqué dans le § I.5 au sein de l'analyse de la tâche, est encore plus opératif que figuratif, car davantage lié aux propriétés spatiales de l'objet tridimensionnel qu'à celles projectives du dessin.

* Quant au type de repérage sous-jacent à cette structuration de l'espace, nous avons vu que celui inféré par l'activité "arêtes cachées" est lié à l'objet : les plans-zéros dans les trois directions principales de l'espace ne sont autres que : la face, le dessus et le côté droit de l'objet.

Un autre **objectif** de l'activité présente est de confronter les élèves à un type de repérage absolu, celui par lequel est régi le système de mesure du logiciel, et qui est indépendant de l'objet représenté.

I.2. Déroulement de l'activité :

L'activité s'est déroulée en deux temps distincts, au cours de deux séances séparées par une durée de trois semaines.

i) La première séance a eu lieu, sans aucune transition, juste après l'activité "Pavé droit". Pour des raisons de "temps scolaire", la durée qui lui a été consacrée n'était pas suffisante pour que les élèves puissent mener à terme la construction de l'assemblage proposé, et nous le savons. L'objectif principal de la séance (que nous appellerons séance d'adaptation) étant le premier objectif annoncé dans le paragraphe précédent, il était

important que l'activité ait lieu à ce moment, malgré l'insuffisance de la durée, quitte à la reprendre plus tard. Ainsi, dans l'analyse des productions des élèves au cours de cette séance, c'est surtout autour des processus d'adaptation que nous nous concentrerons.

ii) La deuxième séance a eu lieu trois semaines plus tard (nous l'appellerons séance de résolution). A part les deux derniers objectifs annoncés dans le paragraphe précédent, qui seront l'objet principal de notre analyse, nous jetterons aussi un regard sur la stabilité des procédures déjà construites au sein de Mac Space, comme sur celles qui se sont avérées inadaptées.

I.3. Monde d'objets impliqués :

Comme nous l'avons dit, la tâche présente est marquée par un retour au monde des objets tant manipulés par les élèves au cours des activités précédentes : le monde des assemblages de cubes, faisant partie du micro-espace. Une catégorie particulière de ces objets sera concernée : des empilements de cubes, ne présentant pas de décalages. Leur base est donc confondue avec leur projection orthogonale. Les empilements choisis pour cette tâche obéissent à une condition supplémentaire : ils présentent plus d'une couche de cubes dans chacune des directions principales de l'espace. La raison d'un tel choix sera expliquée au cours de l'analyse a priori de la construction d'un empilement de cubes à l'aide de Mac Space.

Les cubes matériels utilisés sont non-accrochables. L'objet à représenter gardera donc une position fixée tout le long de l'activité des élèves qui n'auront pas la possibilité de le faire pivoter, et encore moins de le prendre à la main, de le renverser, etc... l'objet devra donc être représenté dans une position déterminée, présentant aux élèves une façade frontale. Par contre, les élèves auront la possibilité de regarder l'assemblage selon différentes directions d'observation, ce qui leur donne la possibilité de contrôler ses vues orthogonales.

L'unité constitutive des assemblages est le cube, pavé droit particulier. D'après leur activité précédente, les élèves possèdent des moyens de le construire avec Mac Space, dès qu'il est reconnu comme un pavé particulier. Contrairement à la tâche précédente où ils étaient fondamentaux, le problème des mesures, ainsi que le problème des correspondances entre le triplet (x,y,z) et les directions principales de l'espace ont moins d'importance dans la

tâche présente, de par la nature même des objets (notons qu'il sera à nouveau posé en puissance avec une tâche ultérieure).

Par contre, à cause de l'abondance des composants de l'objet, un autre problème sera essentiellement posé : le contrôle des positions relatives de ces composants; il se posera essentiellement lorsque les élèves auront à positionner la représentation graphique d'un composant en cours de construction par rapport à celle des composants déjà construits. La recherche des moyens donnés par le logiciel pour régler ces positions passera nécessairement par la structuration des relations spatiales régissant l'objet réel, et par la construction de correspondances entre ces relations d'une part, et la structure de l'espace du logiciel d'autre part.

I.4. Deux situations de dessin, deux cadres de référence :

La situation de dessin présente est profondément différente d'une situation de dessin avec papier-crayon : la représentation interne de la solution, par les élèves, doit intégrer les contraintes du logiciel-outil, au niveau des algorithmes généraux de construction comme au niveau des opérations élémentaires. La plus essentielle de ces contraintes est que le traitement graphique ne se fait pas sur le dessin en perspective. L'obtention de ce dernier n'est que le but de la tâche, et dans certains cas le moyen de contrôle perceptif; en effet, les élèves ne peuvent pas avoir accès à la fenêtre de la vue en perspective, ils ne peuvent qu'y suivre perceptivement l'évolution du dessin.

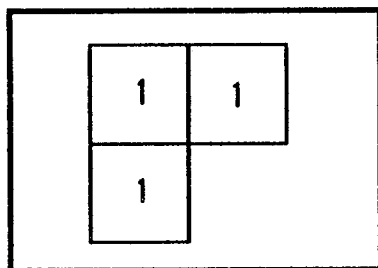
Dans une situation classique de dessin en perspective, les unités informationnelles réalisées par un dessinateur sont basées sur la correspondance entre l'objet à représenter et le dessin à obtenir; cette correspondance se fait par le biais du code de la perspective qui, souvent, reste implicite, et chargé d'effets de perception intuitive et de stéréotypes culturels. Objet ----> représentation interne du dessin à réaliser ----> création et traitement du dessin.

Dans la situation de dessin actuelle, le dessin en perspective n'est qu'un résultat laissé à la charge du logiciel; son degré de conformité avec la représentation mentale du résultat à obtenir servira peut-être à l'élève comme moyen de contrôle, et c'est le seul aspect de l'activité où les élèves effectueront un traitement mental de l'information graphique, se référant au code de la perspective.

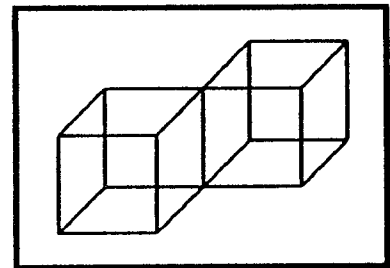
Quant à la création de la représentation graphique, elle se fait suite à un processus de communication élève-ordinateur d'informations, relevant des propriétés géométriques de l'objet à représenter; cette communication doit se faire selon le mode de représentation et de

traitement imposé par le logiciel. L'élève communique à la machine les caractéristiques dimensionnelles et positionnelles des composants élémentaires représentables par le logiciel : ses facettes (carrées pour les objets concernés par cette tâche, donc de propriétés géométriques suffisamment connues par les élèves); la machine répond par des représentations graphiques progressives (les trois vues orthogonales et la vue en perspective) qui serviront comme moyen de contrôle.

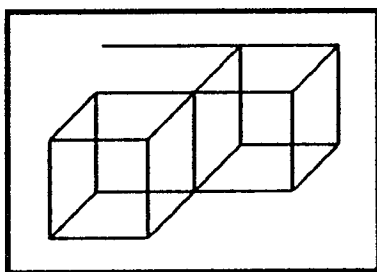
Dans une situation classique de dessin, les positions relatives des composants de la représentation peuvent être réglées par le traitement direct du dessin, et par le biais de propriétés comme : connexité, prolongement, parallélisme, orthogonalité, liaison de points par un segment, etc... ces traitements se font dans l'espace graphique. Les figures suivantes servent d'illustration, en présentant les étapes (création des traits complétant le dessin) pour compléter le dessin de la configuration de trois cubes transparents avec le dessin du cube du coin, une fois que les deux autres sont dessinés (fig.V.1).



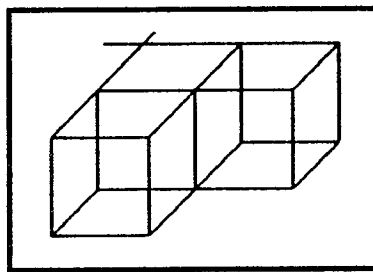
. configuration



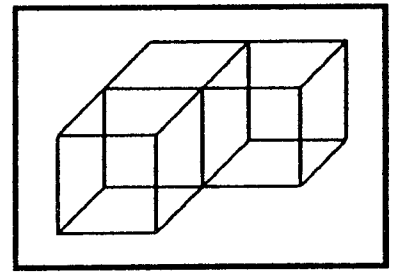
état initial du dessin



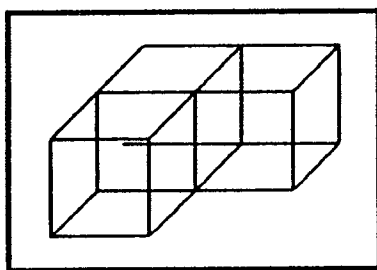
1



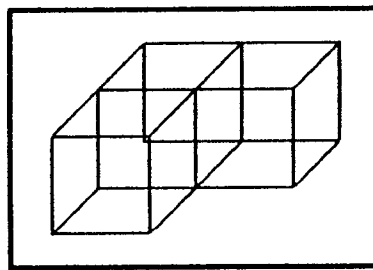
2



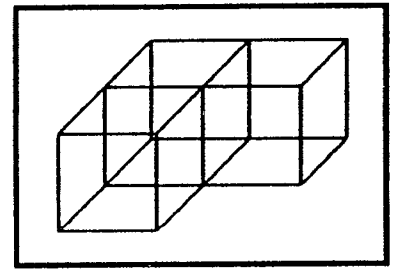
3



4



5



6

fig.V.1

Même dans le cas où la tâche de dessin est soumise aux contraintes des données de mesure à respecter et des conditions sur la perspective à utiliser (angle de la fuyante, rapport de proportionnalité), la réalisation du dessin du cube concerné peut se passer des graduations de la règle, comme du rapporteur; elle peut être entièrement contrôlée par les alignements des segments, donc par des propriétés projectives transposant le problème dans l'espace graphique bidimensionnel.

Dans la situation actuelle (avec Mac Space), ceci ne pourra se faire que par le contrôle et la communication à la machine d'informations à propos des positions relatives des composants (plus précisément des faces) l'intérieur de l'objet lui-même; de telles informations relèvent donc de l'espace de l'objet, espace tridimensionnel (d'où l'opérativité de ce type de traitement).

Objet ----> explicitation et communication de propriétés spatiales et caractéristiques géométriques ----> contrôle perceptif du dessin en perspective.

Pour mettre en relief cette différence fondamentale entre les deux situations de dessin, supposons que, dans l'exemple précédent, la tâche se réduise à la représentation de la face de dessus du cube manquant :

En situation de dessin classique, les opérations à réaliser sont présentées par les dessins 1,2 et 3 (fig.V.1). Aucune mesure n'est à faire, la condition concernant la position de la nouvelle face est remplie par les alignements des segments.

En situation de dessin avec Mac Space (l'état initial du dessin est donné par la fig.V.2), l'explicitation de la position de la nouvelle facette est indispensable pour obtenir le même dessin. La construction du carré se fait, à l'aide de la procédure "Rectangle", dans la fenêtre de la vue de dessus. Cette opération peut, elle, être contrôlée par des coïncidences de points et par des alignements, sinon par le contrôle de deux coordonnées relatives. Mais, avant cette réalisation, il faut communiquer à la machine une "3^o coordonnée" déterminant le niveau du plan de traitement horizontal convenable (fig.V.4), sinon un cas de figure comme celui de fig.V.3 aurait lieu (les bases de construction des deux autres cubes sont supposées dessinées au niveau zéro, adopté par défaut) :

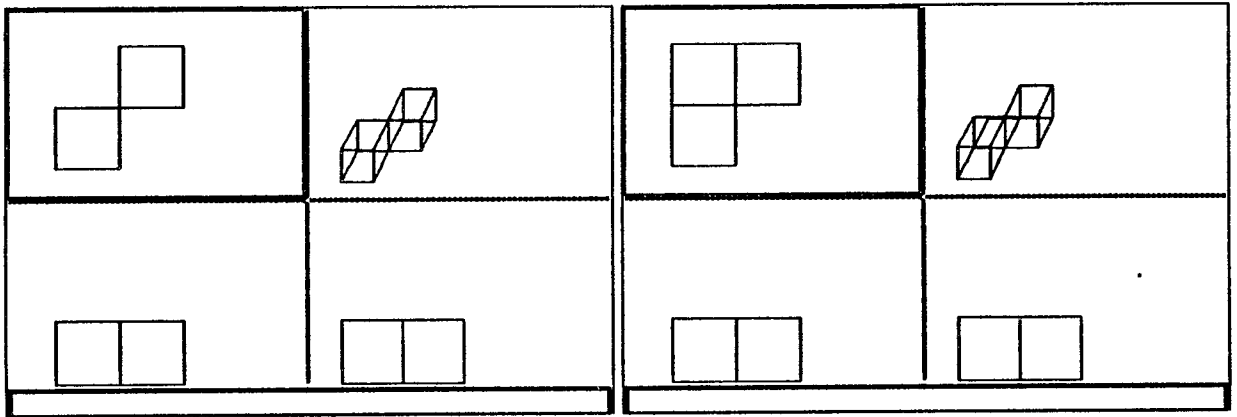


fig.V.2

fig.V.3

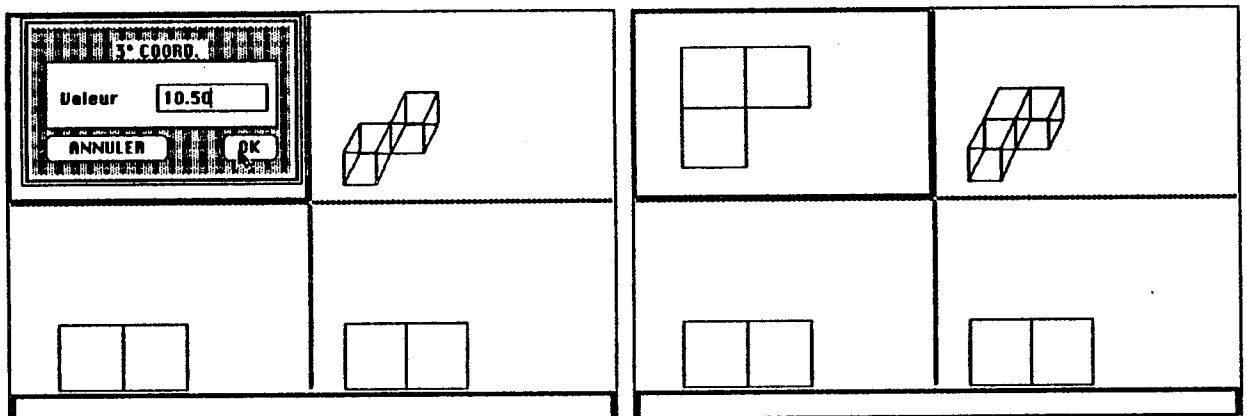


fig.V.4

fig.V.5

La valeur de l'information "3° coordonnée" est calculable dans l'espace tridimensionnel de l'objet, et à travers la mise en œuvre de relations spatiales entre ses composants (par l'ajout de la longueur de l'arête du cube au niveau du plan de traitement des bases des deux cubes déjà construits). Les relations projectives dans l'espace graphique du dessin en perspective ne suffiraient pas à résoudre le problème.

I.5. Algorithmes possibles de construction d'un empilement de cubes à l'aide de Mac Space :

Les assemblages à construire sont des empilements. Sauf pour ceux qui présentent des cubes décalés et qui seront traités à part, ils ont la particularité que la base coïncide avec la projection orthogonale selon la verticale. Donc, dessiner la base de l'objet revient à dessiner sa vue de dessus. Ceci n'est pas nécessairement vrai pour les deux autres vues : vue de face et vue de côté, surtout que nous avons délibérément choisi des empilements dont la face et le côté présentent des dénivellations.

L'objet à construire peut être conçu de deux manières différentes, sous-jacentes à deux algorithmes différents de construction :

1) construction par faces : l'assemblage est conçu comme un objet global, dont la construction peut se faire en dessinant ses différentes faces : sa base, sa façade frontale, son dessus, puis ses cloisons intérieurs. Une telle conception de l'objet est renforcée par le système de vues, et guidée par les pratiques acquises en dessin technique. Une telle conception sera abandonnée au plus tard avant la construction des cloisons, vue leur abondance. Nous pouvons encore aller plus loin dans notre supposition et prévoir qu'elle sera abandonnée juste après la construction de la vue de dessus (si elle est construite en premier lieu); en effet, la représentation des deux autres façades nécessitera la prise en compte des dénivellations, traitement dont les élèves ne possèdent pas encore les moyens de résolution.

Nous pensons qu'un tel algorithme peut amener, soit à la reprise à zéro de la construction, soit à sa continuation à partir de la base déjà construite.

2) construction cube par cube : l'assemblage est alors conçu comme une structure intégrant des objets unitaires, constructibles un à un. Nous pensons que cet algorithme sera finalement adopté par les élèves, suite au coût élevé de l'autre.

II.5.1. Analyse a priori de la construction à l'aide de Mac Space d'un cube de l'empilement :

Deux stratégies sont possibles pour la construction d'un cube; elles sont facilement déductibles des stratégies de construction d'un pavé droit (cf. § II.2 du chap.IV) : construction à l'aide de la procédure "Prisme" et construction "facette par facette". Nous supposons que la dernière ne pourra pas aboutir au but désiré, vu le nombre élevé des facettes des cubes composant l'assemblage (déjà, pour la construction du pavé droit, ne présentant que six facettes, cette stratégie a été abandonnée). Nous pensons, par contre, que des élèves débiteront leur activité avec des stratégies basées sur la construction "facette par facette", favorisées par le système de "vues orthogonales". Nous analyserons alors ce type de stratégies au cours de l'analyse de l'activité des élèves.

Pour le moment, analysons les algorithmes possibles, basés sur l'utilisation de "Prisme". Pour ce faire, nous devons présenter un aperçu sur le problème principal posé par cette stratégie :

I.5.2. Problème de l'accès à un plan de traitement :

Rappelons que la procédure "Prisme" construit, perpendiculairement à la fenêtre de traitement, une surface prismatique fermée, à partir de deux informations que l'utilisateur doit communiquer à l'ordinateur, selon une représentation déterminée, suite à deux requêtes déclenchées par la sélection de la procédure :

i) la première requête concerne la facette qui servira comme base de construction à la surface prismatique; elle doit être préconstruite avant la sélection de la procédure "Prisme", sinon il faut la construire. Cette base de construction sera désignée par sélection d'une de ses arêtes, suite à la requête :

Cliquer sur une arête de la facette

La sélection doit ensuite être confirmée ou refusée suite au message à double option :

Chercher autre élément

Sélection OK

ii) la deuxième requête concerne la mesure de la génératrice de la surface prismatique à construire; elle doit être communiquée par l'utilisateur, suite à une requête d'information de la part de la machine, intitulée "Hauteur"

Au cours de l'activité précédente, la construction d'une signification à attribuer à la deuxième requête ("Hauteur") était un des centres d'intérêt. Au cours de l'activité présente, c'est le problème de la signification de la première requête (base de construction) qui se posera essentiellement, de par la nature des objets, et l'abondance des facettes. Deux problèmes, à deux niveaux différents de difficulté, se poseront :

a) Accès pour sélection : "problème des étages"

Il se pose dans le cas où la facette qui servira de base de construction existe déjà (soit qu'elle a déjà été construite dans ce but, soit qu'elle existe d'office comme étant une des faces d'un cube construit antérieurement). Explicitons le fonctionnement du logiciel par rapport à ce problème, par des images-écrans semblables à celles que la machine présenterait aux élèves, au cours de leur activité :

Supposons que la tâche consiste à construire un cube déposé au-dessus du cube déjà construit, dont l'arête mesure 10 unités. Le dessus de ce dernier servira de base de construction au nouveau cube. Dès la sélection de la procédure "Prisme",

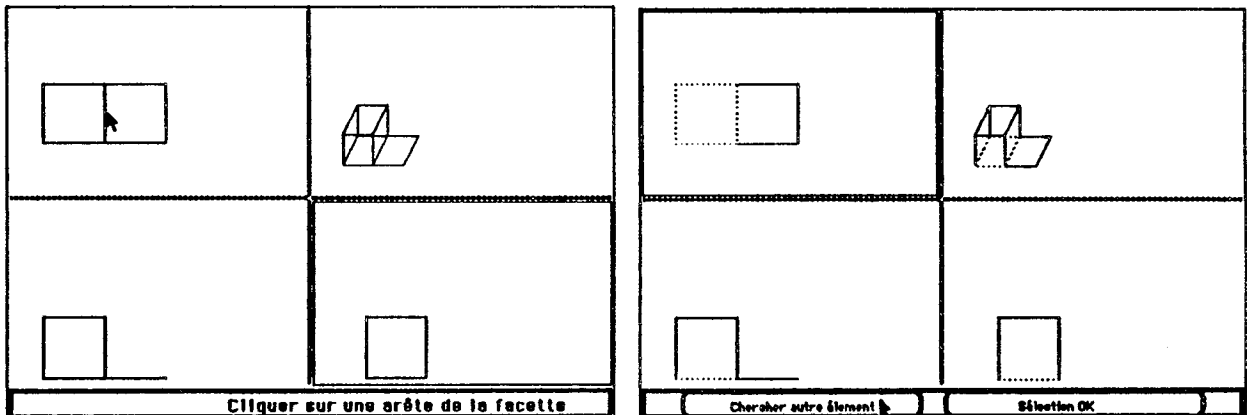


fig.V.6

fig.V.7

L'arête étant désignée dans l'une des fenêtres de traitement, elle représente la projection orthogonale d'une famille de facettes ou d'arêtes de facettes. Toutes ces facettes seront concernées par la sélection. L'une d'elles est mise en pointillés, comme première proposition par l'ordinateur.

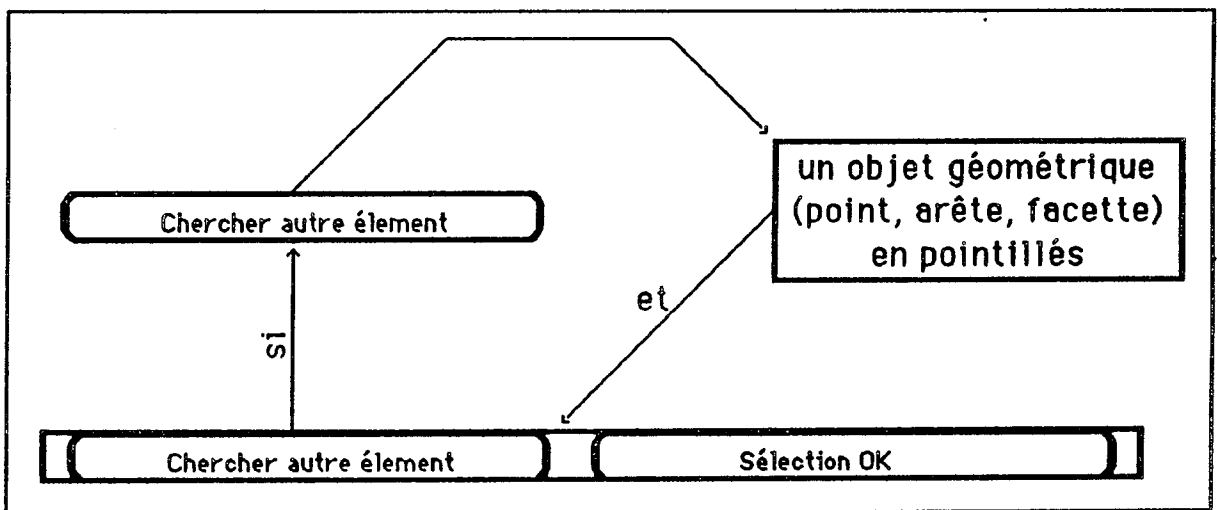


fig.V.8

Le choix de l'option "chercher autre élément" maintiendra le fonctionnement de la boucle triangulaire (fig.V.8), au cours de laquelle une des facettes impliquées sera mise en pointillés à chaque itération. Cette boucle s'arrête à la sélection de l'option "sélection OK" :

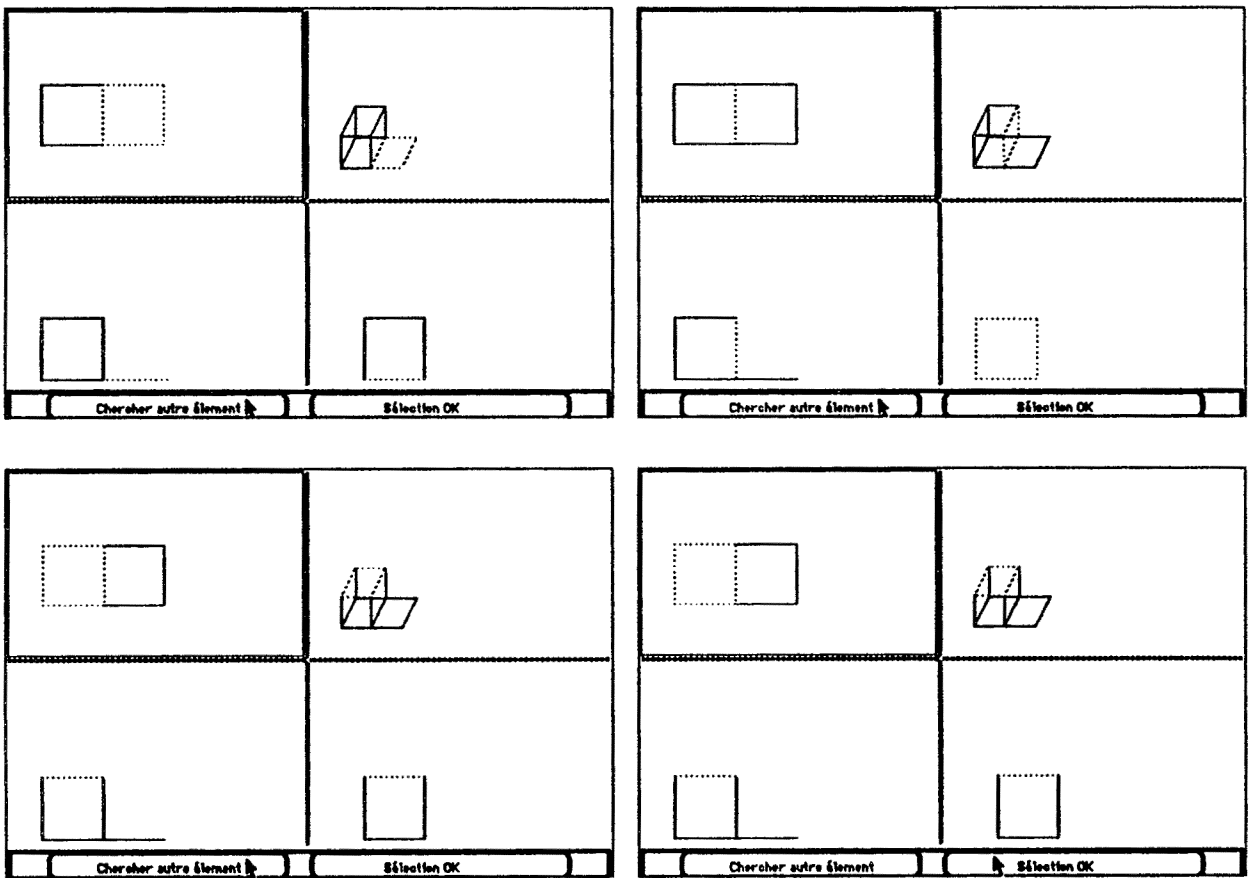


fig.V.9

Jusqu'à la sélection de l'autre option (sélection OK), le cycle de choix des facettes reprendra (fig.V.9). Nous parlerons de "problème des étages" lorsque le but de l'opération est de sélectionner une facette déterminée dans la famille de facettes parallèles, de niveaux différents, ayant la même projection. Nous distinguons ainsi, par exemple, la base et le dessus du cube déjà existant, par rapport à son côté droit et à la facette horizontale isolée. Cette distinction est liée à la structure de l'espace de Mac Space, et aux niveaux de traitement selon une fenêtre donnée.

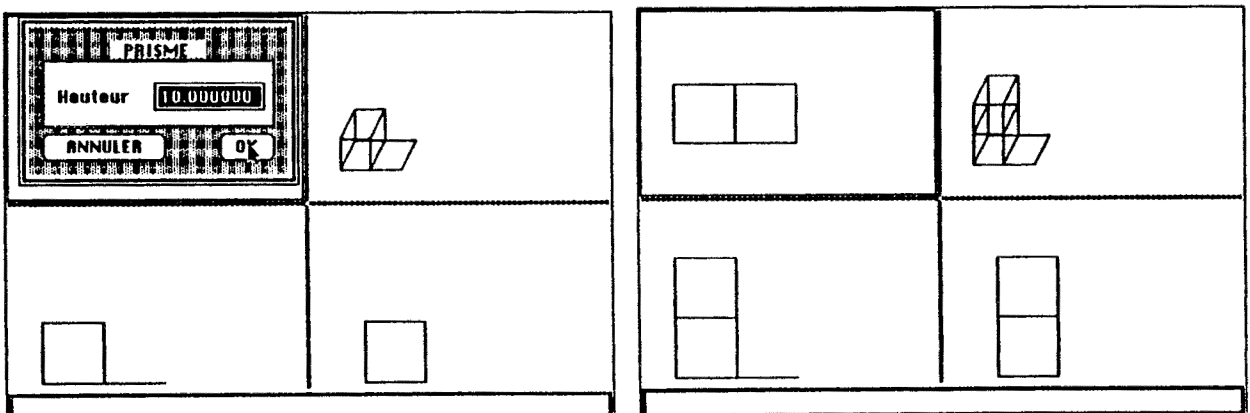


fig.V.10

La figure V.10 montre la suite de la séquence de dialogue et le résultat obtenu, dans le cas où la facette sélectionnée à la sortie de la boucle de sélection est la facette de dessus du cube déjà existant.

b) Accès pour construction : "problème des niveaux"

Il se pose dans le cas où la facette qui doit servir de base de construction n'existe pas encore, elle doit être construite. Si cette facette n'est pas le premier élément de la construction, sa position doit être située par rapport aux autres composants de l'objet déjà construits. Le calcul de cette situation doit se baser sur des relations spatiales, qualitatives et quantitatives, entre les composants de l'objet; sa communication à la machine se fera à travers la commande "3° coordonnée" dont la fonction est de situer le traitement (ici la construction du carré dans une des fenêtres de traitement) à un niveau non nul.

Le dernier exemple du paragraphe (cf. § I.4) illustre ce "problème des niveaux", dans le cas de construction d'une facette à un niveau de traitement non nul.

I.5.3. Quel problème dans cette situation ?

Puisque l'algorithme de construction "Prisme" sera probablement adopté, les élèves seront sûrement confrontés au "problème des étages". En effet, les assemblages choisis présentent au moins deux couches dans chacune des directions principales de l'espace.

Dans ce cas, au moins une solution au problème existe, dans laquelle le "problème des niveaux" ne sera pas posé. En effet, si on aborde et l'on maintient la construction dans la fenêtre de la vue de dessus, les seules facettes à construire seront celles qui composent la base de l'empilement, base de la première couche. Celle-ci peut être construite au niveau de traitement nul, valide par défaut. Une fois cette base construite, la base de la deuxième couche existera d'office, vue la particularité même des empilements; les facettes seront alors sélectionnées (problème des étages)... et ainsi de suite.

Nous pensons, cependant, que l'activité des élèves ne se déroulera pas nécessairement de cette manière, vu qu'ils ignorent encore le fonctionnement de la boucle de sélection. D'autre part, le fait d'accéder à un niveau de traitement horizontal donné inviterait les élèves à changer de fenêtre, et choisir plutôt celle de la vue de face ou de la vue de côté qui, contrairement à celle de la vue de dessus, révèlent les dénivellations concernées.

Un tel changement de fenêtre posera le "problème des niveaux". Nous pensons que les élèves ne parviendront pas à découvrir la solution à un tel problème au cours de la construction d'objets aussi complexes que les assemblages de cubes. La planification de notre séquence prévoit une tâche ultérieure qui sera plus adaptée à poser ce problème (construction des escaliers), de par la nature des objets à construire. Pour cela, nous essayerons, au cours de l'activité présente, d'orienter les élèves vers l'utilisation de la sélection, ce qui remettra au premier plan le "problème des étages".

II. Analyse de l'activité "Assemblages 1"

Processus d'adaptation

L'analyse suivante de l'activité "Assemblages 1" (première séance) se concentrera autour des processus d'adaptation de quelques procédures, celles qui ont été construites et utilisées avec succès au cours des activités précédentes. Les procédures que nous étudierons relèvent de cadres différents :

- 1) procédures "Mac Paint"; elles relèvent du cadre informatique, des pratiques et des connaissances que les élèves avaient acquises autour des possibilités et du mode de fonctionnement de Mac Paint; à ces connaissances, s'ajoutent celles jusque-là acquises autour du mode de fonctionnement de Mac Space.
- 2) procédure "ordre de traitement des cubes"; elle relève du cadre géométrique (géométrie projective) et du cadre analytique (repérage topologique, tel qu'il a été acquis par la première activité "Simulation").
- 3) procédures "dessin papier-crayon"; elles relèvent du cadre graphique : des pratiques et astuces basées sur des relations au sein de l'espace graphique, dans une situation classique de dessin.
- 4) procédures "dessin technique"; elles relèvent du cadre du dessin technique; comme nous l'avons déjà dit, ce cadre de connaissances et de pratiques est mobilisé par le système de vues qui, apparemment, régit le logiciel Mac Space.

II.1. Procédures "Mac Paint"

Ce type de procédures est apparu au début de l'activité des élèves. Deux activités précédentes réalisées à l'aide du logiciel Mac Paint ("Simulation" et "arêtes cachées") avaient inféré deux représentations différentes d'un assemblage de cubes : "ensemble structuré de volumes-unités identiques" par la première et "portion délimitée du réseau de plans équidistants quadrillant l'espace tridimensionnel" par la deuxième. De par la nature de la tâche présente consistant à produire un dessin composé de cubes identiques, c'est la première représentation qui l'a emporté, car elle évoque une solution au problème à moindre coût, utilisant des possibilités qu'offre Mac Paint.

Ce sont les contraintes du logiciel utilisé actuellement qui modifieront cette représentation en redonnant un statut particulier aux composants plans de l'objet, même lorsque l'assemblage sera construit cube par cube (cf. § I.5). En effet, au sein de Mac Space, et même en utilisant les procédures de construction globale, un statut particulier est donné à au moins une facette à chaque construction de cube : la base de construction.

La même représentation interne de la solution a guidé les recherches des élèves :

- * représenter un premier cube,
- * le "copier" pour en disposer dans la mémoire le long de l'activité,
- * le reproduire en utilisant "coller" (un nombre de fois déterminé par le nombre des cubes de l'assemblage),
- * le positionner, à chaque fois, par rapport aux parties achevées du dessin, de manière qu'il représente un des cubes de l'assemblage.

Ainsi, à des moments différents de leur activité, les élèves ont fait des recherches visant à tester si les conditions de mise en œuvre d'un tel algorithme sont valides au sein de Mac Space, surtout pour ce qui concerne les commandes "copier" et "coller". On retrouve là un processus descendant d'interaction avec la machine (Bisseret 1986), consistant à partir d'une représentation déjà construite de la solution, et rechercher dans l'interface les éléments nécessaires à son application. Les résultats d'une telle recherche, complètement ou partiellement négatifs soient-ils, peuvent amener à une réadaptation, voire une modification de la solution, pour la rendre compatible avec les nouvelles découvertes d'éléments de l'interface (processus ascendant).

(Pour la suite des procédures utilisées par chaque binôme et des états de l'écran obtenus, voir l'annexe)

Dans toutes les séquences de schémas représentant les procédures utilisées par les élèves, on trouve la procédure (fig.V.11) :

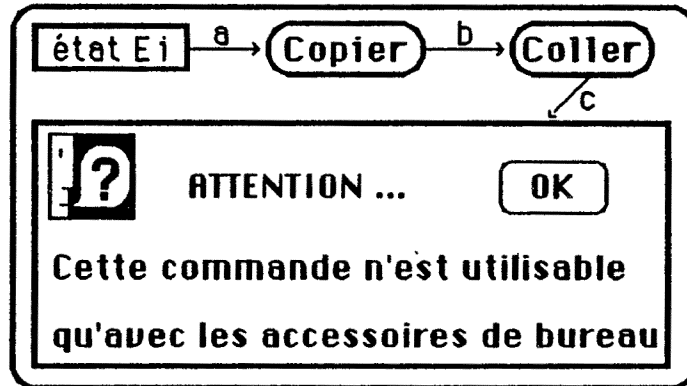


fig.V.11

Dans les trois cas, cette procédure était précédée par des questions autour de la possibilité de l'appliquer dans le nouveau contexte :

((David, Rachel); 1,a)

R: est-ce qu'il y a "copier" là-dessus? on va mettre "copier"

D: ... tu veux "copier"? (il cherche dans les menus) ... c'est quoi ça?... non, c'est pas ça....

R: coller.... on veut... je ne sais même pas ce que ça veut dire ici, mais ça peut être utile

D: coller... il y est

R: coller, tu vois? c'est fantastique.... copier aussi

Signalons, ici, que l'objectif principal du binôme est, ici, de vérifier si les procédures "copier" - "coller" existent; ceci, avant toute autre construction.

Olivier et Stéphane., eux, se sont occupés de cette recherche après avoir construit le premier cube-prototype. Pour appliquer la procédure "copier-coller" dans des conditions se rapprochant d'une situation "Mac Paint", ils ont procédé à l'agrandissement de la fenêtre 3D, de manière que le dessin en perspective occupe toute la page de dessin, et qu'on ne voie plus les fenêtres des "autres vues" (fig.V.12) :

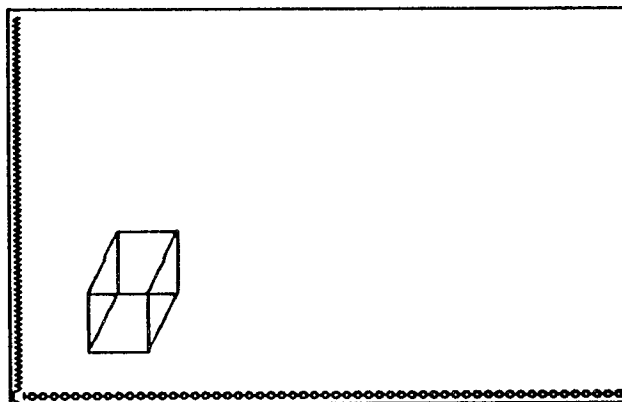


fig.V.12

((Olivier, Stéphane); 3,a)

S: alors maintenant, il faudrait le.... le copier, et le coller plusieurs fois.. regarde si "copier", ça existe

O: (court silence) ah non, il faut d'abord agrandir ça.... maintenant, il faut travailler que là-dessus (que sur le dessin en perspective).... hein?

S: j'aimerais le faire avec Mac Paint

Quant à Eric et Serge, ils se sont posé des questions autour de la possibilité de "copier" :

((Eric, Serge); 3,a)

S: et si on copiait?... non?... non, on peut pas copier

E: et pourquoi on pourrait pas ?

mais aussi autour de la possibilité d'adapter la procédure "copier-coller" pour qu'elle soit applicable non plus à des cubes, mais à des carrés composant le premier cube-prototype. Eric va encore plus loin, en se représentant une solution par laquelle on pourrait "copier" la base du cube déjà dessinée dans la fenêtre de la vue de dessus, sélectionner la fenêtre de la vue de face pour y "coller" le carré, de manière qu'il représente la face du cube. A sa proposition, s'oppose celle de Serge, qui veut plutôt achever la construction du cube ("facette par facette" ou selon la logique du "dessin technique") puis utiliser la procédure "copier-coller" :

((Eric, Serge); Etat E1)

S: là... attends, il faut mettre en vue de face, pour faire ça (la face du cube derrière, gauche, en-bas)

E: oui, mais il faut que ça soit le même (le même carré).... tu te rends compte, si on fait ça pour chaque carré? (il parle de la difficulté de régler les dimensions)

...[....]....

S: on fait un cube entier là, non?... après je démarre d'ici, là,... ah oui, j'enregistre celui-là (il veut dire : on copie le carré), puis je repars dessus, là, (il indique l'extrémité du segment de la fenêtre de la vue de face).. (Stéphane est entré dans la logique de E.)

E: oui

S: on fait un carré déjà..... un cube... pas un carré, un cube, il faut faire

E: vas-y

S: copier..... maintenant coller?

E: vas-y.... j'espère qu'il nous le prendra quand même

S: coller... (message) OK

E: et voilà... il nous l'a pas pris....

Suite au message d'erreur obtenu, deux binômes ((David, Rachel) et (Olivier, Stéphane)) ont déduit que la procédure "copier-coller" est inadaptée dans le nouveau contexte. Bien qu'ils n'étaient pas pointilleux dans l'application de la procédure (les éléments à copier ne fussent pas sélectionnés, voire n'existaient pas, dans le cas de (David, Rachel)), ils n'ont pas mis en cause leur façon d'appliquer la procédure.

((David, Rachel); 2,a)

D: non, ça marche pas; il faut tout dessiner... c'est pas comme Mac Paint

R: il faut qu'on trouve donc une longueur qui soit divisible par 3.... ça fait un grand parall.... ah mais c'est 10; donc, il faut 30

Puisque la procédure "copier-coller" renforçant une représentation de l'objet comme "ensemble structuré d'unités" n'est pas adaptée, c'est plutôt un algorithme de "construction par faces" qui est mis en œuvre. D'un autre point de vue, puisqu'il est impossible de "copier-coller", Rachel trouve inutile de dessiner de petits composants de l'objet; la procédure adoptée commence par la représentation de composants complexes (base des trois cubes de la barre), quitte à les découper plus tard :

((David, Rachel); vers la fin)

R: et maintenant, il faut qu'on fasse un truc.... il faut qu'on ait 3, là, en petits carrés,...

D: on aurait dû faire chacun seul, les petits cubes... je pense

R: oui.... mais, parce que... je ne sais pas... parce que on peut pas coller...on peut pas coller, on peut pas copier, ben, alors, c'est pas la peine....

Quant à Olivier et Stéphane, et compte tenu du stade de l'activité auquel ils étaient (un cube déjà construit), ils adopteront l'algorithme de solution "cube par cube".

((Olivier, Stéphane); 4,a)

S: ah... problème.... il veut pas coller

O: comment on va faire alors ?

*S: attends, réfléchissons... on reprend comme c'était ? (retour à l'état E2 avec les quatre fenêtres)....
[...].ben... faisons l'autre pareil (il veut dire : l'autre cube).*

Eric et Serge, eux, maintiennent plus longtemps les essais, en mettant en cause une opération manquante dans leur façon d'appliquer la procédure :

((Eric, Serge); 4,a)

E: et voilà... il nous l'a pas pris; ...(silence).... parce qu'il fallait entourer sur Mac Paint

S: et comment t'entoures là?

E: je ne sais pas; c'est peut-être ça (icône "tirer zone")

S: ça là? (ils sélectionnent "tirer zone", entourent le carré)

E: non, c'est pas ça... c'est pas ça; c'est l'origine, tu t'en fous, de l'origine

S: extrémité

E: non, laisse tomber... annule... comment on fait?

En fait, la figure de l'icône supposée adaptée à la situation rappelle celle du "rectangle pointillé", procédure utilisée, au sein de Mac Paint, pour sélectionner une zone de la page de dessin. Les réponses de la machine, jamais rencontrées par ce binôme auparavant, et n'ayant pas de relation claire avec leur sous-problème actuel, les amène à déduire que la procédure sélectionnée n'est pas adaptée.

Convaincus que la procédure "copier-coller" n'est pas adaptée pour reproduire des faces en vue de construire le premier cube, Eric et Richard décident de le construire d'une autre manière. Après une recherche autour de la méthode qu'on utilisait, "ah oui.... c'est avec ça qu'on a fait (icône n°4, "Prisme")"... ce qui donne lieu à l'état E2

A ce stade, Eric est conscient de la différence entre Mac Paint et Mac Space, du point de vue de la possibilité ou non de "copier-coller". Stéphane met plutôt en cause la méthode d'application, et essaye de retrouver la séquence d'opérations adéquates :

((Eric, Serge); à la fin)

S: copier, allez, on essaye encore?

E: il est pas d'accord.... on continue.. on fait l'autre (l'autre cube)

S: on peut pas copier là ? attends, je vais essayer

E: copier, ça ne marchera pas... on redessine un autre

S: de l'album...

E: et pourquoi ?... ah oui, l'album, il y a le machin ?

S: je ne sais pas

C'est le mot "album" qui a redonné espoir à E., et qui l'a amené à adhérer aux essais de Stéphane En effet, au cours de l'activité "Simulation", la procédure consistait à copier la représentation-prototype du cube dans l'album.

II.2. Procédure "ordre de traitement des cubes" :

Elle est liée à l'algorithme dressé au paragraphe précédent, et plus précisément à sa dernière phase :

* positionner la représentation du cube, à chaque fois, par rapport aux parties achevées du dessin, de manière qu'elle respecte les relations topologiques de ce cube avec l'assemblage.

La règle "ordre des cubes" consiste à suivre un ordre particulier des cubes à positionner, selon les règles du repérage topologique instauré par les contraintes de l'activité "Simulation". Un statut particulier doit être accordé à un cube déterminé, le premier à construire; à partir de la position de ce cube, l'ordre de construction doit s'orienter selon un ordre sur chacune des trois directions principales de l'espace : de bas en haut, de gauche à droite, du plus loin au plus proche (par rapport à l'observateur-dessinateur).

Les trois binômes étudiés ont pris en compte la règle "ordre des cubes", dès le début de leur activité, explicitement ou implicitement. De toute manière, elle a été explicitée par tous au moment où une correspondance a dû être mise au point, entre les composants de l'objet et les portions dessinées de la représentation graphique.

L'application de cette règle est fondée sur la possibilité de "copier-coller" et de déplacer un dessin sélectionné, à la manière de Mac Paint (translation sur toute la surface de la page de dessin). Pourtant, même après leur découverte que de telles opérations ne sont pas possibles au sein de Mac Space, les élèves ont continué à respecter cette règle.

Ainsi, la règle "ordre des cubes" a été explicitée par **Olivier et Stéphane** après la construction du premier cube, au moment où la position du cube dessiné doit être déterminée par rapport aux autres cubes de l'assemblage. En effet, lors de sa construction à la première phase, ce cube n'avait pas de statut par rapport à l'objet, il avait le statut de

prototype à reproduire. Même après l'échec de la procédure "copier-coller", on entend les élèves déterminer une position à ce cube, compatible avec la règle :

S: ah... problème.... il veut pas coller

O: comment on va faire alors ?

S: attends, réfléchissons... [.....]... c'est lequel, celui-là, qu'on a déjà ?

O: c'est celui de derrière.... parce que c'est avec ça qu'il fallait commencer, non ? (il fait référence à l'activité "Simulation")

S: oui, t'as raison....

David et Rachel ont aussi maintenu la règle "ordre des cubes" après avoir abandonné l'idée de "copier-coller", suite à leur procédure n°1. Ayant décidé qu' "il faut tout dessiner",

((David, Rachel); 2,b)

D: qu'est-ce que tu fais ?

R: ben, je suis en train de dessiner celui-là (elle indique la barre de trois cubes)... si on dessine seulement celui-là (elle indique le cube isolé devant), si ça fait comme dans Mac Paint, et qu'il nous faut encore un cube origine (au sens de l'activité "Simulation"), là, on va encore... il va falloir encore tout recommencer

D: en tous cas... il y a une gomme ici ?

R: non.... et s'il y a pas de gomme non plus, on va s'amuser....

Quant à Eric et Serge, ils ont construit leur tout premier algorithme de résolution du problème posé sur la règle "ordre des cubes"; cet algorithme consiste à commencer par la construction de la vue de face de l'assemblage (construction par faces); Ainsi, la règle a subi une adaptation, elle sera appliquée non plus aux cubes, mais aux carrés composant la vue de face, qui seront construits selon l'ordre que cette règle impose :

((Eric, Serge); au début de l'activité)

S: bien.... on fait la vue de face?

E: euh... on va commencer par la vue de face d'abord... bon... on fait des petits cubes, hein?... attends.. si c'est comme Mac Paint,...

S: il faut commencer....

E: celui-là, celui-là, celui-là, celui-là, celui-là, celui-là, et celui-là.... oui, aucun problème.... attends, d'abord celui du bas

Il est intéressant de noter que l'application de cette règle dans cette situation est purement préventive, sinon "il va falloir encore tout recommencer". Elle ne résulte pas de contraintes particulières, n'a pas le statut de réponse à un problème effectivement posé; elle révèle une anticipation sur des difficultés éventuelles, "si c'est comme dans Mac Paint". Notre hypothèse est que cette règle persistera tant qu'il n'y a pas de contraintes plus fortes qui obligent à la dépasser. Or, dans le mode de fonctionnement de Mac Space, rien ne contredit cette règle, bien qu'elle ne soit pas nécessaire. Un seul cas peut la déstabiliser, si les élèves refusent d'utiliser des hauteurs négatives; il est illustré par l'exemple suivant :

Supposons que la tâche consiste à construire la barre de deux cubes (fig.V.13) :

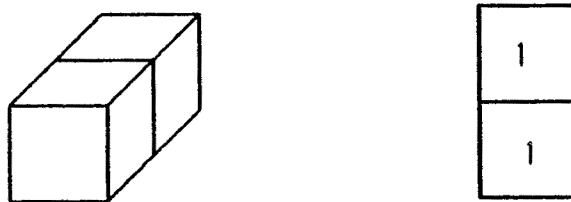


fig.V.13

Supposons que la construction se fait dans la fenêtre de la vue de face. Selon la règle "ordre des cubes", le premier cube à construire est celui qui est à l'arrière.

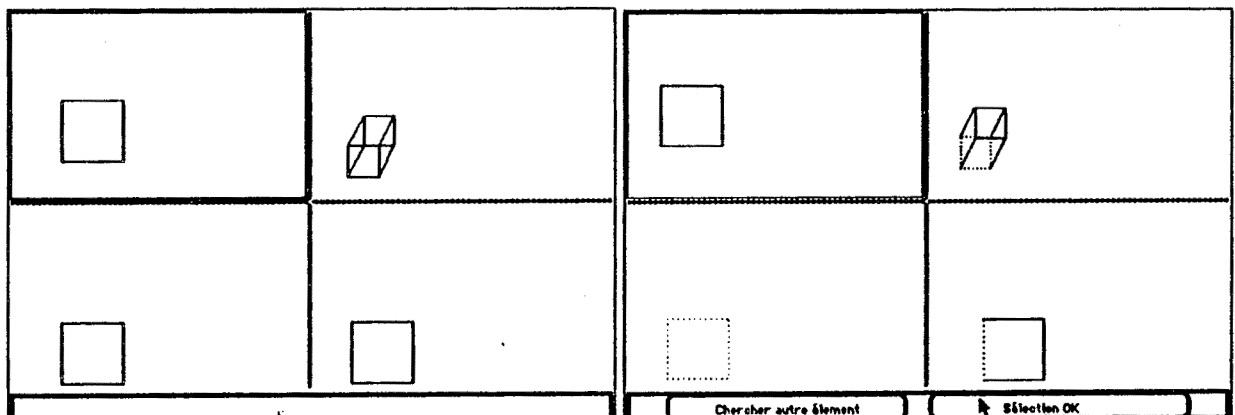


fig.V.14

Cette étape réalisée, la face de ce cube jouera le rôle de base de construction pour le cube de devant (fig.V.14 montre la sélection de cette facette). En appliquant la procédure "Prisme", et en sélectionnant cette facette comme base de construction, la valeur de la hauteur communiquée à la machine devra être "-10", car la construction se fera dans le sens négatif de l'axe des ordonnées de Mac Space (fig.V.15).

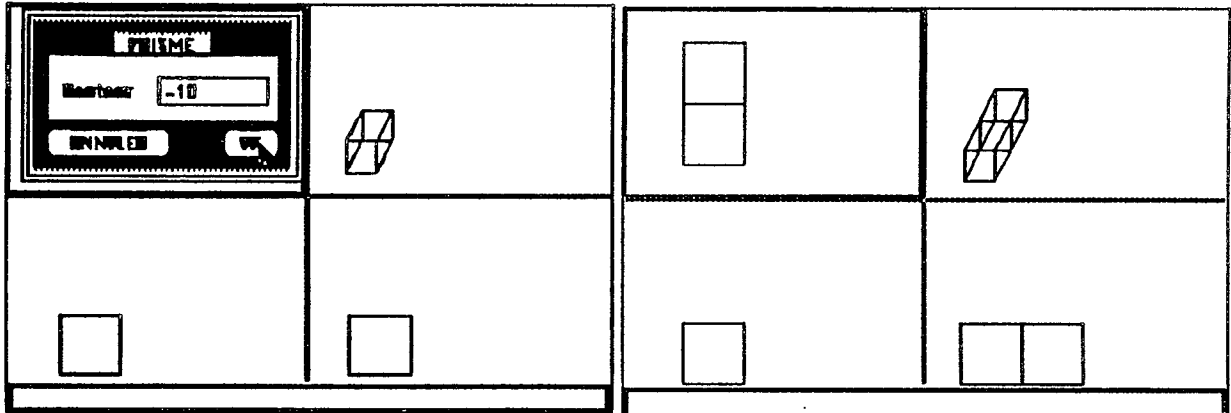


fig.V.15

Comme les élèves acceptent difficilement de concevoir une hauteur négative, un tel cas peut faire barrage à l'application de la règle "ordre des cubes"; il résulte du fait que les deux axes normaux des deux systèmes de référence ont des sens d'orientation contraires : celui du repérage topologique de la première activité "Simulation" est orienté vers l'observateur, celui du système de référence de Mac Space est orienté dans le sens contraire.

Cependant, au fur et à mesure de l'évolution de la représentation "ensemble structuré de cubes" de l'objet évoluait vers une représentation donnant plus d'importance aux facettes, cette règle a fini par perdre de sa vigueur.

II.3. Procédures "dessin papier-crayon" :

Nous parlerons de procédures "papier-crayon" lorsqu'il s'agit de la tendance des élèves à travailler dans la fenêtre 3D de Mac Space, pour effectuer du graphisme tel qu'il est réalisable dans une situation de dessin classique (traiter directement le dessin en perspective, dessiner des points, des traits, effacer des portions du dessin,...). De tels traitements sont interdits par les contraintes de Mac Space. Ils sont possibles au sein de Mac Paint, dont la conception est plus proche d'une situation classique de dessin, mais nous parlerons de procédures "papier-crayon" dans le sens qu'elles excluent les possibilités purement informatiques de Mac Paint ("copier-couper-coller", inverser, faire pivoter, sélection et déplacement,...). La réplique de David après l'échec de "copier-coller" est significative au niveau de cette distinction : *"non, ça marche pas; il faut tout dessiner... c'est pas comme Mac Paint "*

Le cube n'a pas été rapidement appréhendé par tous les élèves comme étant un pavé droit particulier; donc, les procédures "Rec." et "Pri.", spécifiques au micromonde Mac

Space, n'ont pas été perçues par tous comme adaptées à la solution. Seuls Olivier et Stéphane ont adapté, dès le début, ces procédures :

S: comment on a fait notre petit bidule (il veut parler de la construction du pavé droit, activité précédente)? on a commencé par quoi?

O: vue de dessus... avec ça (icône n°1, "Rectangle")

Ces deux élèves ont situé leur activité, dès le début, dans le cadre des procédures spécifiques à Mac Space, avant même d'essayer la procédure "copier-coller" spécifique à Mac Paint. Aussi, leur réaction à l'échec de cette dernière fut-elle de maintenir leur algorithme de solution, en simulant l'effet de "copier-coller" par des constructions répétées.

Par contre, chez les deux autres binômes, la procédure "Pri." n'a pas été perçue dès le début comme solution probable au problème : au moins au niveau du mode de construction, le cube n'a pas été conçu comme un pavé droit particulier. D'autre part, les deux binômes ont prématurément appliqué la procédure "copier-coller" : avec une pure intention de test pour (David, Rachel) et avec l'intention de copier un carré (la vue de dessus d'un premier cube à construire) pour (Eric, Serge)

En mobilisant la procédure "copier-coller", les élèves avaient situé leur activité dans le cadre des procédures possibles dans Mac Paint, logiciel au sein duquel le traitement graphique est assez semblable à celui d'une situation de dessin classique "papier-crayon", sauf, dans les limites des acquis des élèves, pour la procédure "copier-coller". L'échec de celle-ci les amène à chercher des procédures plus usuelles et moins astucieuses, en l'absence dans Mac Space des procédures adaptées :

((David, Rachel); 2,a)

D: non, ça marche pas; il faut tout dessiner... c'est pas comme Mac Paint

R: il faut qu'on trouve donc une longueur qui soit divisible par 3.... ça fait un grand parall.... ah mais c'est 10; donc, il faut 30

Une autre preuve que les deux élèves raisonnaient hors du contexte de Mac Space est que, dès l'obtention du rectangle [30,10], ils ont agrandi la fenêtre 3D (fig.V.16), pour rapprocher l'écran d'une page de dessin d'une part, et pour ne plus avoir affaire au système de vues d'autre part :

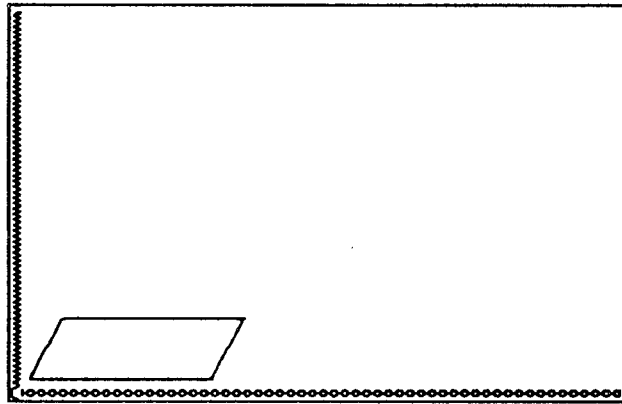


fig.V.16

((David, Rachel); Etat E1)

D: oui, mais déjà il faudrait peut-être pousser un peu la feuille, tu crois pas?

R: non, on va plus avoir les fonctions après

D: mais on essaye.... bon... ben, voilà

R: maintenant, on a ça... on a plus qu'à le compléter, et puis... après, c'est bon

D: c'est la vue de dessus.... le début, quoi

R: (en rigolant) le début de la vue de dessus

D: parce qu'il manque ça, et puis il manque ça (les deux segments-séparations)

Les contraintes de Mac Space résidant dans l'impossibilité de travailler dans la fenêtre 3D ou de dessiner des segments, ajoutée au fait que les élèves ignoraient comment faire des mesures si ce n'est en dessinant des rectangles, les invitent à remettre en question leur procédure graphique, à la fin de la séance.

((David, Rachel); à la fin)

R: et maintenant, il faut qu'on fasse un truc.... il faut qu'on ait 3, là, en petits carrés,...

D: on aurait dû faire chacun seul, les petits cubes (il veut dire : les carrés)... je pense

R: oui.... mais, parce que... je ne sais pas... parce que on peut pas coller...on peut pas coller, on peut pas copier, ben, alors, c'est pas la peine....

D: mais après, on va avoir des problèmes, parce qu'on n'a pas de repère pour faire nos cubes; et comme on peut pas coller,...

R: oui, on va avoir des problèmes... ben, voilà... (ils rigolent) il faudra tout recommencer...

Chez le binôme (Eric, Serge), le recours aux procédures "papier-crayon" s'est manifesté, à plusieurs reprises, par leur souhait de pouvoir travailler dans la fenêtre 3D. Comme pour (David, Rachel), l'échec de la procédure "copier-coller" les a ramenés à des procédures usuelles. Leur sous-but actuel est d'achever la représentation graphique du cube-prototype. L'échec à ce niveau de la procédure "copier-coller", traitement informatique

facilitateur, a défavorisé la procédure de construction globale "Pri."; notons que, pour ce binôme, l'application de cette procédure était parvenue de manière presque naturelle au cours de l'activité "Pavé".

((Eric, Serge); 5,a)

E: mais si on était parti.... il faudrait peut-être partir de l'axonométrie

S: attends....

E: parce que c'est là qu'on voit le mieux, hein? et on peut se placer où on veut.... essaye de partir de l'axonométrie

S: non, il veut pas

A l'essai, les contraintes du logiciel empêchent tout traitement au sein de la fenêtre 3D.

II.4. Procédures "dessin technique" :

Dans le cadre de ces procédures, nous intégrons aussi les procédures de construction "facette par facette" que nous avons maintes fois évoquées au cours de l'activité précédente. Ce sont, en somme, les procédures où les élèves ont tendance à omettre d'utiliser des procédures de construction globale pour représenter des solides (pavé ou cube). Leur façon de faire est de procéder selon la logique de dessin technique inférée par le logiciel. Deux raisons nous amènent à classer les deux catégories de procédures sous le même titre :

i) Des résultats de recherches autour de procédures de lecture-écriture en dessin technique ont montré que lorsque les élèves produisent les vues d'un objet, ils confondent avec leurs projections les faces parallèles aux plans de projection (identification vues/facettes de l'objet).

ii) Dans le cadre de Mac Space, les réponses graphiques de la machine (surtout la vue en perspective) auront pour effet de faire évoluer les algorithmes de solution des élèves : de la logique du dessin technique vers la logique de construction par facettes.

Au cours de l'activité précédente "Pavé droit", les interactions entre les partenaires et quelques procédures effectivement mises en œuvre montrent qu'une représentation de la solution selon la logique de dessin technique est prégnante. Bien que l'activité des élèves ait abouti à une procédure commune de construction globale (à l'aide de la procédure "Prisme")

après confrontation aux contraintes du logiciel, une telle représentation de la solution a persisté dans les propositions de quelques élèves. Aucune d'elles n'a été effectivement mise en œuvre, soit à cause de la courte durée de la séance, soit à cause de l'opposition du partenaire. Donnons des exemples :

Dès le début de leur activité, un différend a opposé **David** et **Rachel**, autour de la difficulté d'un problème : celui des "étages".

((David, Rachel); au début)

D: on commence par la vue de dessus ?

R: bon; la vue de dessus, ça fait... il y a différentes hauteurs en plus

D: de toute façon, la vue de dessus, tu la vois tjs pareil, hein?

R: ben, oui, mais il y a une ... il y a... il y a 2 hauteurs

D: oui, mais ça, c'est pour la vue de.... de côté... et la vue de face; mais pour la vue de dessus; tu vois plutôt à la même hauteur

R: oui.... oui, si tu veux; si on veut; mais comment on va faire pour.... parce que....

Rachel touche au problème des "étages", par une recherche intellectuelle anticipée d'un moyen de communiquer à la machine l'information autour des deux étages. En fait, elle situe son raisonnement dans le cadre informatique, et par rapport à sa connaissance de la procédure "Prisme" au cours de laquelle elle peut (ou doit) communiquer à la machine la hauteur du "pavé" en cours de construction. Par contre, David n'arrive pas à toucher à ce problème, car il situe son raisonnement dans le cadre du dessin technique : même s'il y a plusieurs cubes superposés verticalement, leur vue de dessus est la même. Il suffit que les vues soient correctes, donc il suffit de construire les projections, pour que le dessin soit construit.

C'est dans le cadre de cette même logique que se situe sa proposition plus tard :

((David, Rachel); Etat E1)

D: ça, c'est la vue de haut... de ça ... donc, maintenant, il faut la vue comme ça (d'après le geste de la main, il veut parler de la vue de face)

Cette proposition a été sans écho, car il fallait d'abord compléter la "vue de dessus".

Quant à Eric et Serge, ils ont situé leur raisonnement dans le cadre de la géométrie projective, en poursuivant une représentation de la construction "facette par facette", avec

l'éventualité d'utiliser "copier-coller" pour reproduire des facettes, parallèles d'abord, puis perpendiculaires. Selon cette logique, ils savent que dessiner en vue de dessus un carré ne suffit pas pour représenter les faces horizontales d'une pile de deux cubes. Une telle prise de conscience situe déjà leur raisonnement en dehors du cadre du dessin technique, mais le laisse encore loin d'être adapté au cadre informatique du fonctionnement de Mac Space :

((Eric, Serge); Etat E1)

S: attends... alors, on fait tout le carré... et puis...

E: attends; là, c'est la vue de dessus; donc, on a fait... normalement, on a fait soit celui-là (base du cube "derrière, gauche, en-bas"), soit celui-là (base du cube "derrière, gauche, en-haut").... mais vu de dessus

S: dessus, c'est là... (le dessus du cube d'en-haut)

E: oui, mais nous, on a fait celui-là (base du cube d'en-bas)

S: ah oui

E: donc, il faut qu'on fasse celui-là (base du cube d'en-haut)

Les deux élèves ont un raisonnement relevant d'une procédure "facette par facette" : un carré dessiné dans une fenêtre de traitement ne représente qu'un carré composant de l'objet. Pourtant, on peut noter une nuance qui re-situe leurs deux raisonnements dans deux cadres différents, d'après leur choix des faces qu'ils font correspondre au carré dessiné : Stéphane se situe toujours dans le cadre de "dessin technique", avec la confusion qui identifie une "vue" de l'objet avec une de ses faces : ici, la vue de dessus de la pile de deux cubes avec la face-dessus du cube supérieur, car c'est celle qu'on voit quand on regarde l'objet selon la verticale descendante. Quant à E., il situe son raisonnement dans le cadre informatique de Mac Space, mais selon un algorithme de solution "facette par facette" : les faces qu'il fait correspondre à la "vue" dessinée sont les bases des deux cubes, car l'expérience a montré que la "vue de dessus" avec laquelle on commence la représentation d'un pavé ou d'un cube au sein de Mac Space n'est autre que sa base.

De toute manière, qu'il s'agisse de la logique du dessin technique, ou de celle d'une construction "facette par facette", les contraintes de fonctionnement du logiciel et le degré de complexité de l'objet à représenter ont contribué à leur abandon; ainsi, les élèves ont été poussés à mobiliser des connaissances ou des procédures (mémoire opérationnelle) relevant du cadre informatique (procédure globale de construction d'un cube, par exemple).

II.5. Conclusion (concernant la séance "Assemblages1") :

Outre son objectif commun avec la séance "Assemblages 2" de confronter les élèves à un mode particulier d'accès à l'espace, auquel est sous-jacente une "structure stratifiée" de l'espace, cette séance avait pour objectif d'étudier les processus d'adaptation, à la nouvelle situation, de procédures ayant prouvé leur efficacité dans d'autres situations.

La nature des objets concernés par cette situation a mobilisé des procédures et des conceptions construites et utilisées au cours de situations-problèmes antérieures de la séquence (situation de "simulation" par exemple). Ceci se révèle par un retour à une conception de l'assemblage comme un ensemble structuré de volumes-unités identiques, conception non compatible avec celle qu'en fait le logiciel, et qui est analogue à celle construite au cours de la deuxième situation-problème ("arêtes cachées") : l'assemblage de cubes comme portion délimitée, par des facettes, d'une portion du réseau de plans équidistants quadrillant l'espace.

Nous avons noté une persistance, chez quelques élèves, dans ces essais d'adaptation; ils ont même dépassé le niveau d'adaptation des procédures à la nouvelle situation, vers des essais d'adaptation de la situation aux procédures, en essayant de mettre le système dans un état qui le rapproche d'une situation de dessin avec Mac Paint (agrandissement de la fenêtre de la vue 3D pour plus d'un binôme). Ce sont les contraintes du logiciel, s'opposant à l'application de telles procédures, qui ont orienté leur évolution :

- * soit vers la prise d'une décision que la procédure en question n'est pas adaptée à la nouvelle situation, ce qui oriente vers d'autres procédures,
- * soit vers la mise en cause de la manière dont la procédure a été appliquée dans le nouveau contexte, ce qui oriente vers d'autres essais d'adaptation.

Ces essais d'adaptation plus ou moins longs posent une question qu'il serait intéressant d'approfondir : à quel moment et pour quelles raisons les élèves décident-ils qu'une procédure n'est pas adaptée à la nouvelle situation, et que les possibilités de son adaptation sont épuisées ? cette question est liée au statut et au rôle de l'ordinateur comme outil expérimental pour la résolution de problèmes.

Sans prétendre avoir répondu à une telle question, nous avançons, ici, quelques réflexions à propos des facteurs qui peuvent être influants :

- * le degré de fermeture de la situation, qui détermine l'existence ou non d'autres procédures possibles perceptibles par les élèves;

* la nature des réponses de la machine et leur degré de compatibilité avec les attentes des élèves, d'une part, et la possibilité de trouver des moyens de les en rapprocher d'autre part (ce dernier procédé pouvant donner lieu à des transformations successives du problème qui pourront, à un moment donné, le rendre trop éloigné du problème initial);

* les interactions entre les partenaires au sein du même binôme (ou groupe). L'analyse de cette activité nous a révélé l'importance de ces interactions dans la création de conflits socio-cognitifs qui font avancer le processus d'adaptation ou de modification de procédures, et qui favorisent la formulation par les élèves d'arguments pour soutenir un point de vue, faisant évoluer un langage spécifique à la situation et à la séquence en général. Plusieurs fois, l'utilisation d'un mot particulier, faisant référence à tout un contexte, était moteur d'associations d'idées et de procédures mobilisées dans d'autres cadres (par exemple, le mot "album" au cours des discussions de (Eric, Richard)).

Le problème d'accès ne s'est pas posé à tous les élèves au cours de la première séance "Assemblages 1" dont la durée n'était pas suffisante pour que tous les binômes arrivent à un moment de confrontation de ce problème. Nous pouvons, pourtant, instaurer une relation décroissante, au cours d'une durée donnée de temps, entre :

- * d'un côté, la persistance des élèves dans des stratégies d'adaptation de procédures relevant de cadres différents (papier-crayon, dessin technique, Mac Paint),
- * d'un autre côté, le degré d'avancement de la représentation graphique exigée, dans le cadre informatique de Mac Space.

C'est ainsi que, au cours de la séance "Assemblages 1", seul le binôme (Olivier, Stéphane) a été confronté au "problème d'accès". En effet, et contrairement aux deux autres binômes, ce n'est que relativement pendant un moindre temps que les stratégies de ces deux élèves étaient situées dans des cadres autres que celui de Mac Space. Chez les autres binômes, les processus d'adaptation de stratégies développées dans des cadres différents empêchaient la décomposition du problème posé en sous-problèmes relevant du mode de fonctionnement propre à Mac Space.

Deux raisons peuvent expliquer le dépassement relativement rapide par (Olivier, Stéphane) des processus d'adaptation de stratégies hybrides :

- * Dès le début de l'activité, le cube a été conçu par ce binôme comme un pavé droit particulier, dont la construction a déjà été réalisée dans le cadre de Mac Space et selon son mode de fonctionnement. Ce dernier a donc été mis au premier plan dès le début de l'activité. Ce fait leur a épargné des essais d'adaptation de pratiques "papier-crayon", comme c'était, par exemple, le cas de (David, Rachel)

* La procédure "copier-coller" n'a été appliquée par ce binôme qu'après la construction complète de la représentation d'un cube. Ainsi, l'échec de cette procédure n'a pas amené à son adaptation à des composants partiels (comme c'était le cas, par exemple, de E.S.). La réaction immédiate à cet échec était de construire les autres cubes avec la même procédure que pour le premier.

Pour ces raisons, et en peu de temps, Olivier et Stéphane se sont trouvés face au problème d'accès à des points ou des surfaces de l'espace, de niveau non nul. Ce binôme donne, par sa longue recherche de moyens pour surmonter ce problème, un répertoire assez représentatif des stratégies possibles, dont quelques-unes sont apparues chez les autres binômes.

III. Analyse de l'activité "Assemblages 2"

III.1. Introduction :

La séance "Assemblages 2" a eu lieu trois semaines après "Assemblages 1". Ce fait nous permettra d'examiner la stabilité chez les élèves de certaines conceptions, comme de certaines pratiques au sein du logiciel utilisé.

Le déroulement de l'activité des élèves au cours de la séance précédente a montré la stabilité de conceptions correspondant au repérage topologique acquis par le biais de l'activité "Simulation" : cube-origine, trois directions principales de l'espace, sens d'orientation. De même, elle a montré la stabilité de certaines pratiques facilitatrices, permises par le logiciel et utilisées par les élèves au sein de Mac Paint : sélection, "copier-coller", déplacement d'une partie d'un dessin,... Enfin, elle a montré que les élèves ont davantage recours à la logique du dessin technique et à celle de la construction par composition de facettes, qu'à la logique de construction globale adoptée par le logiciel; les procédures de construction globale ne sont remises au premier plan qu'après une prise de conscience de la complexité et du coût élevé des autres procédures.

Au cours de la séance présente, nous poursuivrons l'analyse des essais d'adaptation de telles procédures. Avant d'exposer les résultats détaillés de l'analyse, signalons que les dernières procédures (composition de facettes, dessin technique) sont les plus stables et les plus durables; elles figureront parmi les algorithmes globaux de résolution du problème posé. Par contre, les procédures développées dans l'environnement de Mac Paint seront moins présentes. On ne trouve, par exemple, de tentative d'utilisation de la procédure "copier-coller" que chez le binôme (David,Rachel)

D'autre part, nous concentrerons notre analyse autour des réactions des élèves au "problème des étages", autour du sens qu'ils attribuent à ce problème en fonction de leur rapport à l'espace de l'objet d'un côté, et à l'espace graphique de l'autre, et finalement autour de leurs procédures pour résoudre ou contourner ce problème, en fonction des contraintes et du mode de fonctionnement du logiciel utilisé.

En ce qui concerne le "problème des étages", le déroulement de l'activité des élèves au cours de la séance précédente nous a amenée à modifier l'organisation de la séance présente; en effet, les procédures des élèves ont révélé la difficulté et la probabilité très faible de réussite à découvrir par eux-mêmes la solution à ce problème, telle qu'elle est

représentée par le logiciel; ceci pour des raisons diverses que nous essayerons de dégager dans un paragraphe suivant (cf. § III.2.2). Dans cette introduction, nous nous contentons de signaler qu'au cours de cette séance a eu lieu une intervention collective du maître, dont l'objet est de montrer aux élèves, par l'action, un aspect de la logique de fonctionnement du logiciel en ce qui concerne la boucle de sélection d'une facette. Nous dirons que cette intervention collective est "ostensive", dans le sens qu'elle se limite à inciter les élèves à l'observation de quelques faits.

Dans les schémas illustrant l'évolution des procédures des élèves, de même que dans le paragraphe analysant l'évolution de leurs algorithmes généraux de solution, le moment de l'intervention collective du maître est signalé. Le message du maître prendra, en effet, son sens en relation à sa position, dans le temps, par rapport à la séquence de différents sous-problèmes posés à chacun des binômes, en général, et du sous-problème local auquel chacun d'eux est confronté au moment de l'intervention, en particulier.

Selon cette hypothèse, nous avons voulu que cette intervention ait lieu à un moment où le "problème des étages" s'est posé à quelques élèves, mais pas à tous; ceci nous procurera des moyens pour analyser la construction d'une logique d'utilisation de certains traitements, en fonction du moment auquel intervient l'exposé de la logique de fonctionnement correspondant aux mêmes traitements.

III.2. Déroulement et raisons d'être de la phase collective

III.2.1. Déroulement

L'objectif de cette intervention était de présenter aux élèves des informations susceptibles de leur procurer des moyens de déduire et de construire (ce qui reste une tâche complexe) la logique de fonctionnement de la boucle de sélection.

En fait, cette phase collective n'était pas prévue dans notre analyse a priori initiale. Mais l'observation de l'activité des élèves au cours de "Assemblages 1" nous a incitée à mener une analyse a posteriori plus poussée de la complexité du fonctionnement impliqué, analyse a posteriori qui a enrichi notre analyse a priori et qui nous a aidée à mieux estimer la complexité de ce fonctionnement.

Il faut avouer que notre objectif était de mettre les élèves dans une situation a-didactique (Brousseau, 1986), où, comme dans les situations précédentes, ils prennent

complètement en charge le problème, sans intervention du maître. La situation nous a montré que, compte tenu de l'intervention d'un dispositif (l'ordinateur), et compte tenu du fait que son fonctionnement est bâti sur une certaine représentation estimant les capacités (intellectuelles et même physiologiques) de l'utilisateur, les élèves ne disposent pas toujours de ces capacités pour pouvoir détecter les subtilités des caractéristiques ergonomiques de l'interface.

Dans le paragraphe suivant, nous exposerons les raisons qui ont rendu nécessaire cette phase collective au cours de laquelle le maître a exposé les règles de fonctionnement de la boucle de sélection au sein de la procédure "Pri.". Présentons, ici, une description rapide du déroulement de cette phase :

A un moment précis de l'activité des élèves (explicité dans § III.3), le maître reprend en main la classe, en demandant aux élèves de fermer leur fichier après l'avoir enregistré et d'ouvrir un fichier "débat" (l'icône représentant ce fichier était cachée, car le maître s'est arrangé pour qu'elle n'apparaisse pas dans la fenêtre de la disquette; les élèves ne pouvaient donc pas repérer son existence avant ce moment).

Le fichier "débat" contient une page "Mac Space", où a été représenté un cube (fig.V.17).

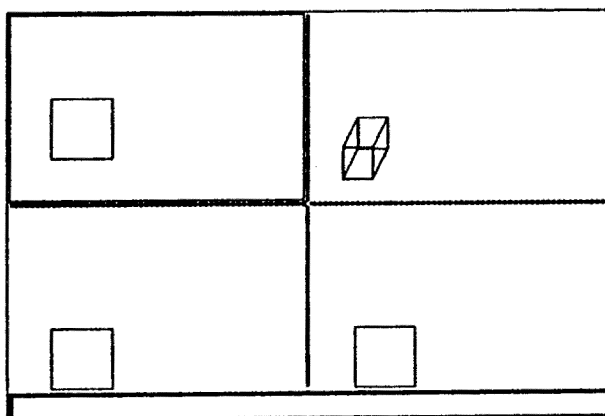


fig.V.17 : "débat"

Le maître "dévoile" aux élèves le sous-problème : "nous voulons construire un cube par-dessus, en utilisant l'icône 'Prisme' ". Chaque binôme doit essayer de réaliser cet objectif, en "bien observant les modifications qui apparaissent à l'écran, à chaque étape", selon les incitations du maître.

En fait, dans une telle situation, les élèves seront dans des conditions plus favorables pour détecter puis interpréter les "pointillés" de la boucle de sélection; en effet, ce problème beaucoup plus fermé que celui de construire un assemblage de cubes, pas seulement du point de vue quantitatif (le nombre de composants est beaucoup plus petit), mais aussi du point de vue qualitatif : d'une part, l'outil de construction est déterminé, ce qui empêchera toutes les stratégies "facette par facette". D'autre part, dans la construction des assemblages de cubes, la confrontation des élèves au "problème d'accès" lors de la construction d'un composant les amenait à le contourner ou à le reporter en construisant d'autres composants; là situation reste ouverte dans le sens que la recherche des élèves vise à transformer ce problème en d'autres, pour lesquels ils pensaient pouvoir trouver une solution. Le problème posé ici est, par contre, rapidement décomposé en sous-buts, qui ne peuvent plus être transformés en d'autres; l'incertitude est vite réduite, les unités informationnelles affichées que les élèves doivent observer et interpréter sont plus réduites.

Après les essais, le maître a invité tous les élèves (ils étaient au nombre de 8) à échanger et à mettre en œuvre leurs idées autour d'un seul ordinateur. Cette mise en commun finit par des questions autour des raisons d'être du double message de la machine : "chercher autre élément, sélection OK". Des essais, le maître intervient pour mettre au point la logique de fonctionnement de la boucle de sélection.

III.2.2. Raisons d'être de la phase collective :

L'analyse suivante est le résultat d'une analyse a priori de la complexité de l'interaction élève / logiciel au sein de l'activité proposée, enrichie par une analyse a posteriori, basée sur l'attitude et les stratégies des élèves au cours de la séance précédente ("Assemblages 1"). Elle comportera une analyse comparée entre trois situations différentes de dessin graphique.

a) Raisons relevant des objectifs de la séance :

Visant à poser le problème d'accès particulier à l'espace du logiciel, cette séance met les élèves face à deux problèmes relevant de cet accès : le "problème des étages" et le "problème des niveaux". La résolution de ce dernier exige un degré plus avancé de construction de l'espace du logiciel et, surtout, de construction du système de référence qui le régit, système de référence indépendant de l'objet. Par contre, la résolution du "problème des étages" peut se faire dans les limites d'une représentation d'un système de référence

encore relatif, lié à l'objet, tel que le système de trois plans dont il a été question dans l'activité "Arêtes cachées".

Pour cette raison, et pour d'autres relevant d'une comparaison plus approfondie des deux problèmes (qu'on trouvera dans le chapitre suivant § I), nous avons choisi de mettre au premier plan le "problème des étages".

D'après le déroulement de l'activité des élèves, le problème d'accès s'est manifesté par un va-et-vient entre les deux problèmes, aboutissant à une impasse à cause de l'insuffisance des connaissances qu'ont les élèves du mode de fonctionnement correspondant à ces problèmes. Dans notre analyse a priori, nous avons prévu que le problème des niveaux ne pourrait être résolu par les élèves sans aide; mais nous espérions qu'ils réussiraient à trouver le moyen informatique de résolution du "problème des étages"; en effet, la situation a amené à une problématisation assez avancée de ce problème. Pour les raisons qui suivront, cette découverte par les élèves de ces règles de fonctionnement (et surtout de la signification de la boucle de sélection) s'est avérée trop compromise par la dispersion de la recherche à cause de la transformation du problème visé en d'autres qui amenaient à une impasse. L'objectif étant d'orienter vers la résolution du problème d'accès à l'espace par le biais du "problème des étages" non par le biais du "problème des niveaux", nous avons décidé, suite à nos observations de la séance "Assemblages 1", d'introduire la phase collective en question.

b) raisons relevant de la structuration de l'espace par le logiciel

Comme nous l'avons expliqué dans la "représentation conceptuelle" de Mac Space (cf. § I du chap.III), l'espace est représenté dans chacune des fenêtres de traitement.

Pour les élèves (et, nous supposons, pour tout utilisateur qui aborde le logiciel pour les premières manipulations), la représentation spontanée serait plutôt de concevoir ces fenêtres comme représentant des plans. Une telle représentation sera renforcée par les modifications, avec le déplacement du curseur, des valeurs des deux coordonnées correspondantes à chacune des fenêtres, ce qui renvoie au repérage euclidien plan. La conception de l'espace à travers une telle représentation relève davantage d'une juxtaposition de trois plans que d'une coordination. Nous pourrions la représenter par la relation algébrique entre les trois axes trirectangles :

$$(Ox \bullet Oy) + (Oy \bullet Oz) + (Ox \bullet Oz)$$

où "+" désigne la juxtaposition, • la coordination de plans de repérage.

Un des objectifs de la séquence est de faire évoluer cette représentation vers celle plus coordinatrice de Mac Space : une représentation stratifiée de l'espace, que l'on peut représenter par l'une des trois relations algébriques, selon la fenêtre de traitement :

$Oz \bullet (Ox \bullet Oy)$; $Ox \bullet (Oy \bullet Oz)$; $Oy \bullet (Ox \bullet Oz)$;

en général : $Oxi \bullet (\bullet(j \neq i) Oxj)_{j=1,2,3}$

(i pouvant prendre les valeurs 1, 2 ou 3)

Un aspect significatif d'une telle représentation est celui des moyens d'accès à un plan de traitement particulier P_i , correspondant à une valeur déterminée de x_i , et parallèle au plan $(\bullet(j \neq i) Oxj)_{j=1,2,3}$. Parmi les deux moyens d'accès disponibles selon le cas, que nous avons explicités au § II.5.1, nous nous intéresserons ici au moyen d'accès par sélection, au sein de la procédure "Pri".

Comparons le moyen d'accès donné par Mac Space à deux autres, donnés par deux situations différentes dont l'une est plus habituelle et assez spontanée : la situation de dessin en perspective papier-crayon, et l'autre est assez expérimentée par les élèves et compatible avec leur représentation de l'espace comme juxtaposition de trois plans trirectangles de projection : la situation de représentation par le dessin technique. Pour cette comparaison, nous ne prendrons, en exemple, que des objets dont les faces sont parallèles aux plans de projection, donc faisant partie du monde d'objets concerné par notre séquence :

*** situation de dessin en perspective papier-crayon :**

Dans une telle situation, l'accès à un point ou un objet graphique d'un plan de traitement P_i est direct sur le dessin en perspective (fig.V.18) :

La distinction entre un objet géométrique de P_i et un autre objet ayant la même projection est assurée par le décalage selon la fuyante.

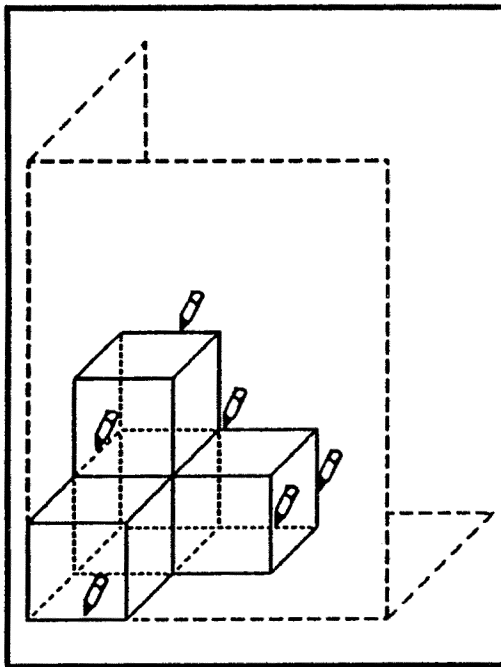


fig.V.18

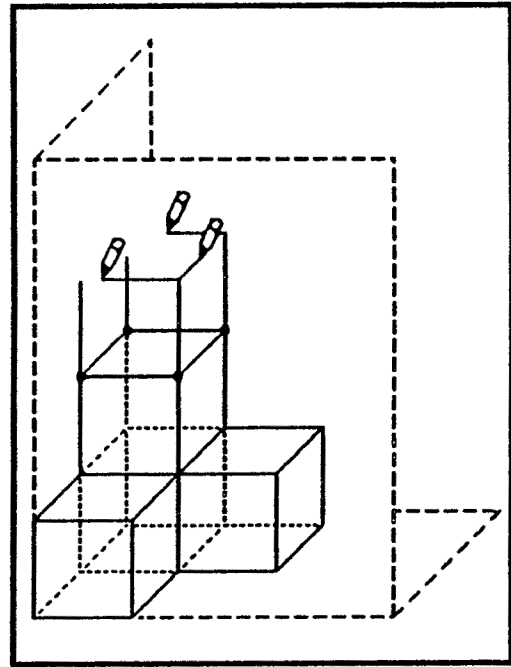


fig.V.19

Pour ajouter des représentations de nouvelles unités graphiques (un nouveau cube par exemple), l'action doit porter sur les segments délimitant les représentations des faces de ce cube (sauf dans le cas de coïncidences dues à la perspective utilisée ou à des relations de connexité). Illustrons avec l'exemple donné par fig.V.19. Supposons qu'on veut ajouter au dessin initial la représentation d'un cube placé par-dessus le cube du "deuxième étage". Parmi d'autres possibilités, on doit alors dessiner segment par segment les deux carrés représentant la face-devant et la face-arrière de ce cube, ainsi que les deux fuyantes. Par cette action de dessin, tous les représentants des côtés du cube à dessiner sont parcourus par la pointe du crayon, sauf ceux des côtés de la base qui ne seront pas reproduits, car ils seront considérés comme déjà existants. Ainsi, des composants du cube ayant même projection selon le plan frontal et situés à des niveaux de profondeur différents (les deux faces frontales), seront explicitement distingués par l'action de dessin. Il en est de même pour les composants ayant la même projection sur un plan normal, comme les deux côtés normaux de la face dessus de ce cube, représentés par les deux fuyantes.

Dans cette situation de dessin, le statut de base du nouveau cube est implicitement attribué à la face dessus du cube-support. Ceci est possible de par la possibilité d'accès direct aux sommets du parallélogramme qui représente ce dernier.

*** situation de représentation par le dessin technique :**

L'accès à un point ou un objet géométrique d'un plan P_i se fait à travers sa projection sur le plan de projection parallèle à P_i . mais, vu la non-bijectivité de la projection, la distinction entre un objet géométrique du plan P_i et un autre objet ayant même projection selon la direction x_i ne peut se faire dans P_i ; elle doit se faire dans les autres plans de projection.

Dans l'exemple (fig.V.20), l'accès à la représentation des plans de la base de l'objet, de son dessus et de la base du cube de dessus se fait dans le plan horizontal de projection (le plan de la vue de dessus), qui leur est parallèle. Mais la distinction de ces composants ne peut se faire dans ce plan; elle se fera dans les deux autres plans de projection : le plan normal (plan de la vue de côté) et le plan frontal (plan de la vue de face).

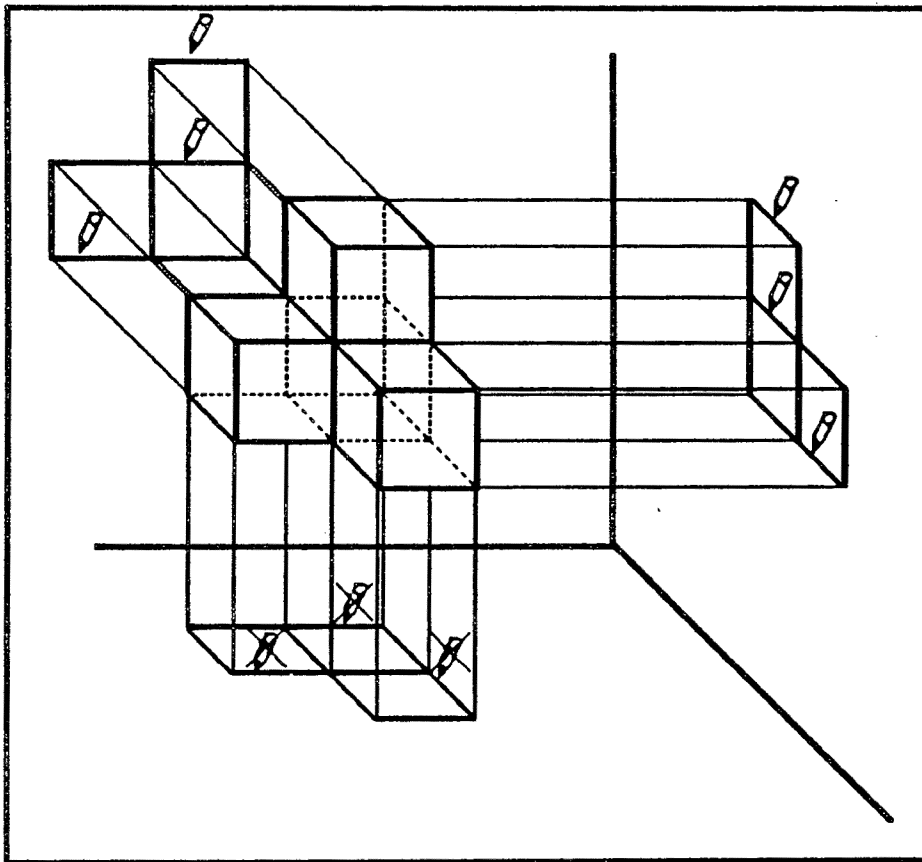


fig.V.20

Quant à l'ajout de représentations de nouvelles unités graphiques, prenons le même exemple (à une rotation près) que pour le paragraphe précédent : supposons qu'il s'agit d'ajouter aux vues la représentation d'un cube supplémentaire, placé par-dessus le cube du "deuxième étage" (fig.V.21). Puisque ce nouveau cube se superpose, selon la verticale, avec un autre objet identique, il aura la même projection que ce dernier selon cette direction.

Aucune action graphique n'est à accomplir donc sur la vue de dessus, compte tenu du fait que la projection du cube selon la verticale est confondue avec celle d'un autre objet, déjà existante. Par contre, les deux projections du cube sur les deux plans frontal et normal doivent être dessinées. Sur chacun des deux carrés que sont ces deux projections, seront superposées les projections de deux faces parallèles du cube. Par le carré de la vue de face seront représentées les deux faces frontales, par celui de la vue de côté les deux faces normales.

Cette représentation n'est pas nécessairement celle qu'ont les élèves de la représentativité des vues; en effet, la représentation fréquente consiste à considérer que :

- la "vue de face" représente la face de l'objet, donc, ne représente qu'une des faces frontales,
- la "vue de côté" ne représente qu'un côté de l'objet (soit celui de droite soit celui de gauche), donc ne représente qu'une face normale
- l'action de dessiner ces deux vues signifie qu'on dessine la face et le côté de l'objet... coordonner les vues revient à imaginer un objet dont la face et le côté sont analogues à ces vues.

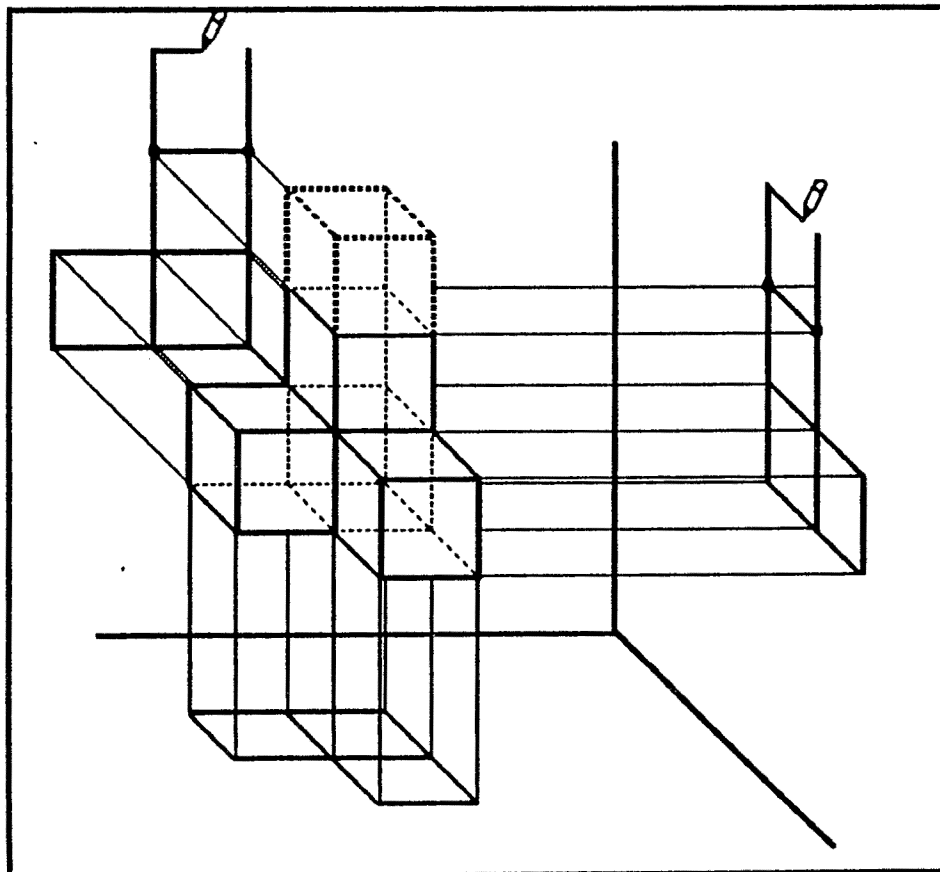


fig.V.21

*** situation de représentation avec Mac Space :**

Comme nous l'avons signalé dans l'analyse conceptuelle du logiciel, le système de vues de Mac Space se distingue subtilement du système de vues du dessin technique par le fait qu'une vue de l'objet représente davantage la manière dont on le "voit" selon une direction d'observation, que sa projection selon cette direction. En effet, dans le cas du dessin technique, plusieurs composants de l'objet ayant même projection sont unifiés par cette projection; leurs projections sont confondues en une surface plane et la logique du dessin technique n'exige pas de les distinguer, elle n'exige que de les coordonner.

Dans le cas de Mac Space, une "vue" dans une des fenêtres (représentée de même par une surface plane) peut représenter plusieurs composants de l'objet, situés à des niveaux différents selon la direction normale au plan de la fenêtre, et "vus" comme s'ils étaient écrasés sur cette surface. Or, dans chacune des fenêtres de traitement, et à travers une surface plane, on peut, à l'aide de la boucle de sélection, distinguer dynamiquement, et selon une alternance cyclique dans le temps, les composants de l'objet dont cet surface peut être la projection. C'est là que réside la différence fondamentale qui se tient derrière l'opérativité de Mac Space et sa représentativité dynamique de l'espace, qui met en évidence les différents niveaux (plans de traitement) selon chacune des trois directions principales d'observation.

Pratiquement, l'accès à un point ou un objet géométrique X d'un plan P_i de traitement se fait à travers une des trois fenêtres contenant les trois "vues" de l'objet, de préférence celle dont le plan directeur est parallèle à P_i . Cet accès se fait à travers une boucle de sélection qui, à chaque itération, sélectionne un des composants de l'objet ayant même projection que X .

Au cours d'une procédure quelconque, la distinction entre deux plans de traitement parallèles se fait dans la fenêtre de traitement dont le plan directeur est parallèle à ces deux plans; elle ne peut pas se faire dans les deux autres fenêtres, contenant les deux autres "vues", car on ne peut avoir accès à la fois qu'à un point, ou une arête (qui peut amener à la sélection d'une facette) désignée par la sélection d'un de ses points; ceci, en réponse à la requête : "cliquer sur une arête de la facette". Dans l'exemple de la figure, la distinction entre la base et le dessus du cube de dessus doit se faire dans la fenêtre de la vue de dessus, dont le plan directeur est parallèle à ces deux facettes; elle est possible par la possibilité de désigner un point d'une arête faisant partie de la projection commune des deux facettes. Les

contraintes du logiciel empêchent cette distinction dans les deux autres fenêtres, par l'impossibilité de sélectionner d'un coup deux arêtes distinctes.

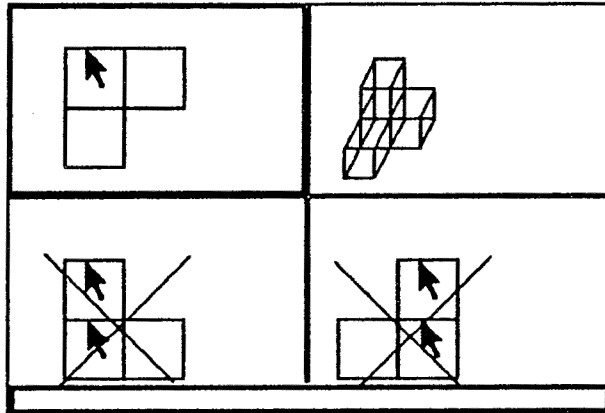


fig.V.22

Un tel type de distinction implique que la désignation d'une des faces de l'objet par sa "vue" (ou même dont la "vue" contient l'arête désignée) se fait par un procédé diamétralement opposé à celui du dessin technique et très différent de celui d'une situation de dessin papier-crayon : quoique cette structuration de l'espace soit plus opérative et plus dynamique, elle est loin d'être spontanée ou facilement repérable à travers les signes et indices, statiques ou dynamiques, offerts par l'interface. De ce point de vue, les pratiques du dessin papier-crayon et les représentations de l'espace relevant du dessin technique constituent un obstacle à la construction de la structuration particulière de l'espace par Mac Space.

Finalement, reprenons le même exemple utilisé ci-dessus pour expliciter les opérations concernant l'accès à l'espace, pour ajouter à la représentation du "coin de cubes", celle d'un cube placé par-dessus celui du "deuxième étage". D'après le mode de fonctionnement de la procédure "Pri.", l'utilisateur doit désigner la "base de construction", qui servira de directrice à la surface prismatique à construire qui sera construite d'emblée par le logiciel. Donc, contrairement aux deux situations précédentes, la désignation ne porte pas sur points (sommets du parallélogramme représentant le dessus du cube dans le cas de dessin papier-crayon, ou sommets du carré et du parallélogramme représentant ses vues dans le cas de dessin technique), la désignation a pour objet une face qui servira de base au nouveau cube.

Aussi contrairement aux deux autres situations, l'accès à cette face ne pourra se faire que dans la fenêtre dont le plan directeur est parallèle à cette face, donc là où on ne peut pas "voir" distinctement le premier, deuxième ou troisième plans de traitement horizontaux. Ce type d'accès, et la structuration de l'espace qui lui est sous-jacente, se heurtent à l'obstacle

des pratiques et connaissances assez stables, concernant ce fait. En effet, l'accès (au moins par la perception) à l'espace réel environnant se fait spontanément par changements continus de points de vue pour "voir" ou "se représenter" plusieurs objets de l'espace alignés selon la direction d'observation; il en est de même pour l'accès aux différents plans de traitement dans les deux situations de dessin ci-dessus, moins élaborées et plus spontanées, c'est vrai, mais qui infèrent des pratiques et connaissances trop stables, comme l'a montré l'activité des élèves au cours de la réalisation des deux dernières tâches.

Finalement, la désignation de la base de construction doit se faire d'une manière explicite. L'utilisateur doit être conscient du rôle de la boucle de sélection et de sa fonctionnalité par rapport à la construction en cours. Le suivi des facettes composantes de l'objet représentées par la sélection effectuées doit se faire par un contrôle perceptif dans la fenêtre 3D, ce qui oblige à situer la facette sélectionnée à chaque itération de la boucle par rapport à l'ensemble des composants de l'objet jusque-là représenté, d'où, encore, l'opérativité de l'accès particulier à l'espace par Mac Space.

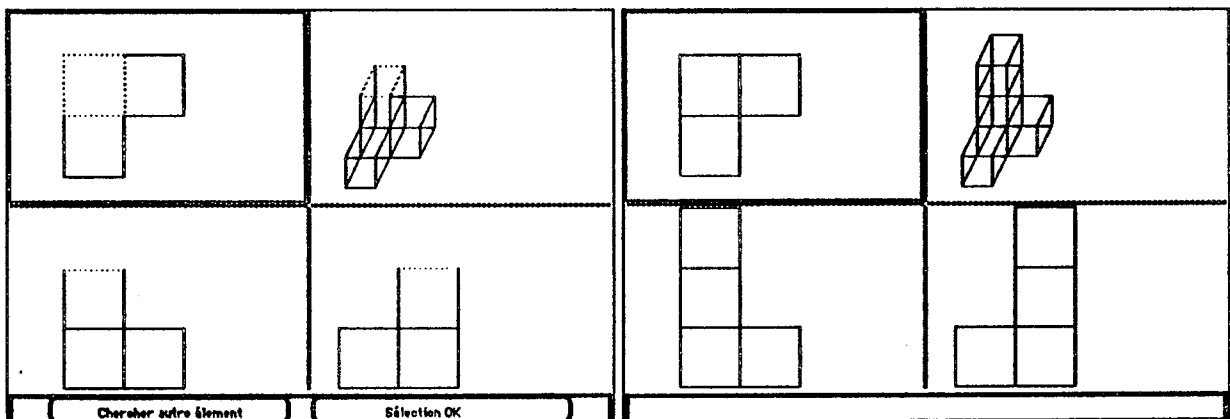


fig.V.23

fig.V.24

c) raisons relevant de l'interface du logiciel

La représentation de l'espace ci-dessus analysée sera construite par les élèves au fur et à mesure que les exigences de la tâche et l'interaction avec le logiciel les amènent à construire et structurer les règles de fonctionnement des procédures disponibles.

Ainsi, l'interface du logiciel a une grande importance par rapport à ce processus de construction. Dans cette partie de l'analyse, nous étudierons quelques aspects de cette interface, en ce qui concerne le fonctionnement de la procédure "Pri.", le partage des tâches qu'elle impose et le langage qu'elle utilise.

Pour montrer la grande complexité du processus d'interaction élève-logiciel, nous essayerons de dresser les différents (et multiples) cheminements possibles de son déroulement, avec un exemple simple de construction d'un nouveau cube, qui pose à l'utilisateur, pour la première fois, "le problème des étages". Nous supposons donc que l'utilisateur est un élève qui ne possède pas encore une connaissance complète structurée de tous les aspects du mode de fonctionnement de "Pri.", ni de la structure de l'espace représenté par le logiciel. Sa connaissance réduite, guidée par l'expérience et les indications interactives de la procédure lui ont permis, par contre, de construire les représentations de deux cubes, donnée par fig.V.25.

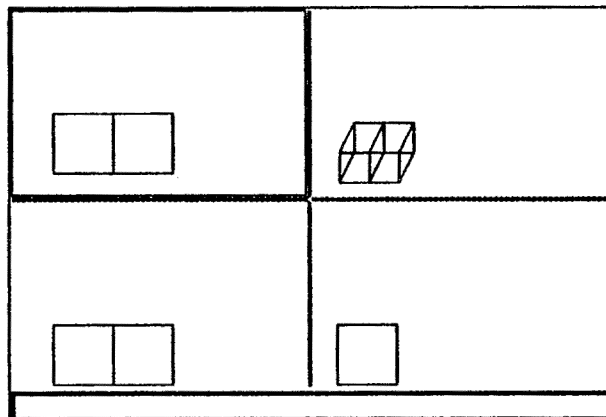


fig.V.25

Supposons que la tâche de l'élève consiste à construire la représentation d'un cube placé par-dessus le cube de gauche. Dans ce qui suit, nous nous intéresserons à l'incidence des différents facteurs et actions accomplies, qui constituent l'état de la machine au moment précis de l'accomplissement de cette opération. Selon cet état, la même opération élémentaire peut aboutir à différents résultats : perceptibles (ex : résultat graphique, message, requête, signaux divers,...) ou non perceptibles (changement d'état ne donnant pas de trace à l'écran).

En adoptant le modèle d'arbre proposé par Bisseret & Enard (1970) et basé sur l'explicitation de la tâche prévue et des tâches effectives possibles qui lui correspondent, nous essayerons de mettre en évidence la complexité de la tâche pour un utilisateur occasionnel du logiciel considéré. C'est la complexité de cette arborescence et l'abondance des incidences lors de l'application des opérations élémentaires qui nous ont incitée à organiser la phase collective autour du mode de fonctionnement de la boucle de sélection.

i) Sélection de la fenêtre de traitement :

Parmi les trois fenêtres de traitement, le mode de fonctionnement de "Pri." exige la sélection de celle de la vue de dessus, car la base de construction est horizontale.

Dans l'activité des élèves, cette sélection n'a jamais été explicitée comme règle d'action constante de leur procédure. Au contraire, leur règle d'action spontanée était de passer à une autre fenêtre, de façon à pouvoir distinguer la base et le dessus du cube (cf. § précédent, "représentation avec Mac Space"); leurs premières stratégies allaient donc à l'encontre du mode de fonctionnement. D'après l'incompatibilité avec le résultat attendu, ils finissaient par remettre cette stratégie en question : *"c'est peut-être parce qu'on a changé de fenêtre"*.

A part ces facteurs relevant de l'intention des élèves, d'autres actions non intentionnées peuvent aboutir à la sélection non voulue d'une fenêtre ou d'une autre, que ce soit la bonne ou non. En effet, la sélection d'une fenêtre se fait par un simple clic du bouton de la souris, que les élèves peuvent effectuer pour des raisons complètement indépendantes de la sélection, et souvent de manière aléatoire.

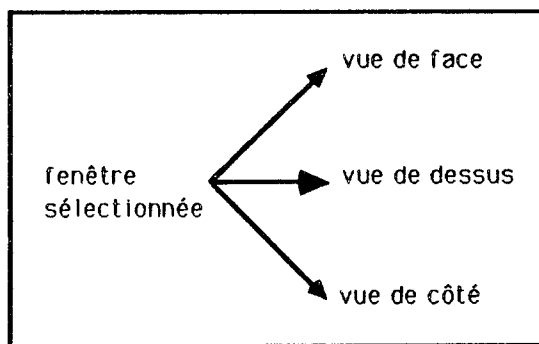


fig.V.26

Dans la suite, nous n'étudierons pas le cas de la fenêtre de la vue de côté, en signalant qu'il sera analogue à celui de la vue de face par le fait qu'il n'aboutira pas au résultat voulu. Nous étudierons donc les cas de la fenêtre de la vue de face et de celle de la vue de dessus; l'un représente un cas où le cheminement de la "tâche prévue" ne peut plus être suivi, l'autre représente un cas où il est parcouru, ce qui fait que la probabilité d'aboutissement est non nulle.

ii) Sélection de l'icône "Prisme" :

Nous supposons que cette action sera réalisée par les élèves sans problème, et d'une manière consciente et intentionnée; en effet, ils l'avaient déjà correctement utilisée pour la construction des deux premiers cubes

iii) Réponse à la requête : "Cliquer sur une arête de la facette" :

La réponse de l'utilisateur à cette requête déclenchera la boucle de sélection, qui mettra en évidence, à chaque itération, une des facettes qui peuvent être concernées par la désignation de l'arête sélectionnée par cette réponse. Considérons les deux cas :

- la fenêtre de traitement est celle de la vue de face :

Nous supposons que la facette que les élèves désigneront intentionnellement est celle de gauche. La sélection par les élèves, en réponse à cette requête, dépend du sens qu'ils lui attribuent. En effet, le mot "facette" utilisé par le logiciel n'a pas pris son sens propre, ce que prouvent certaines actions des élèves révélant le fait qu'ils lui accordent un sens très large, portant sur toute catégorie d'objets géométriques (cube, face, ensemble de faces). Il est même arrivé que des élèves proposaient la commande "annuler dernière facette", en ayant l'intention d'annuler une commande quelconque (qui peut ne pas avoir donné lieu à une facette).

Donc, si les élèves attribuent "une arête de la facette" la signification : "une arête de la face qui servira de base de construction", la sélection désignera l'arête horizontale supérieure (que nous désignerons par "a1.1"). Si, par contre, la signification attribuée est : "une arête du cube qui servira de support", la sélection peut porter sur une quelconque des quatre arêtes de la facette gauche (désignées par "arête1", "a1.2", "a1.3" et "a1.4").

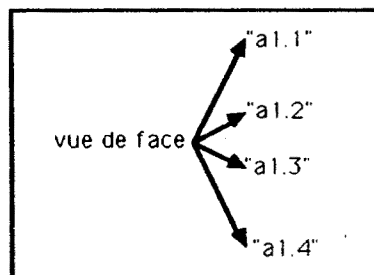


fig.V.27

- la fenêtre de traitement est celle de la vue de dessus :

Nous supposons que la facette que les élèves désigneront intentionnellement est celle de gauche. Elle peut être désignée par l'une de ses arêtes, les quatre pouvant amener à la sélection de la bonne "base de construction" du nouveau cube : soit ("a2.i")_{i=1,2,3,4}

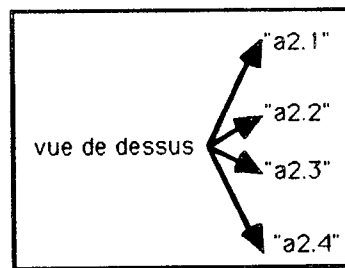


fig.V.28

iv) interaction au sein de la boucle de sélection :

La sélection d'une des arêtes étant faite dans une des fenêtres de traitement, la "boucle de sélection" sera déclenchée : la représentation d'une des faces concernées par cette arête sera mise en pointillés dans les quatre fenêtres, et le message à double option "chercher autre élément.... sélection OK" est affiché.

A ce niveau, beaucoup de facteurs interféreront pour orienter ou influencer la décision des élèves : le plus important est la signification qu'ils peuvent attribuer à la boucle de sélection et particulièrement au message à double option affiché.

La prise de conscience de la mise en pointillés est un des éléments essentiels dans la construction d'une telle signification. Or, nous avons remarqué, le long de l'activité des élèves, que ces pointillés n'ont pas été perçus : le pointillé est trop fin pour être facilement repéré, d'autant plus que les lignes obliques de la représentation graphique (en perspective) peuvent donner la même impression de ligne pointillée, à cause des cassures dues à la disposition par pixels. D'autre part, les élèves ne sont pas disposés à remarquer cet effet, car ils n'accordent pas encore une fonction de sélection ou de désignation à la boucle de sélection. On voit là des implicites assez forts, les élèves considérant qu'en cliquant sur l'arête, la machine réalisera la construction attendue, car de toute manière ils ne sont pas conscients des autres possibilités de sélection.

D'un autre point de vue, le langage des deux messages de requête, conjugué avec la relation de l'élève à la machine, contribuent à bloquer la construction de la signification : ce qui intéresse les élèves est que le procédé avance, et leurs réponses aux messages de la machine relève davantage de l'obéissance à un ordre de la machine que de l'affectation de l'introduction de données. L'interprétation de "Cliquer sur une arête de la facette" et "chercher autre élément" peut relever de cet objectif.

A tout ceci, s'ajoute l'ambiguïté du message "chercher autre élément", dont on ne sait pas a priori s'il donne une information ou adresse un ordre.

Signalons qu'un exemple de la signification de ce message comme indicateur d'état est donné par (Eric, Richard) au cours de l'activité semi-guidée : à l'affichage de ce message à double option, les élèves ont longtemps attendu sans accomplir aucune action, en disant : "*// cherche autre élément*", réplique qu'ils ont d'ailleurs noté dans leur description du déroulement de l'activité.

Dans le deuxième cas, où ce message est considéré comme adressant un ordre, on ne sait pas s'il est orienté dans le sens utilisateur ----> machine ou dans le sens machine ----> utilisateur. Les élèves ont plutôt tendance à l'interprétation selon le deuxième sens, car leur idée des messages verbaux des deux logiciels utilisés est que :

- * soit ils demandent à l'utilisateur d'accomplir une action pour faire avancer le processus,

- * soit ils lui annoncent une erreur, une anomalie ou une impossibilité de prendre en compte leur dernière opération.

C'est dans les deux sens que ce message peut être interprété, en induisant une incitation à l'élève de désigner, par exemple, une autre arête que celle qu'il a déjà désignée.

Finalement, un autre élément contribue à la non-construction d'une signification à ce message, c'est sa co-existence avec un autre : "sélection OK", qui évoque la petite fenêtre "OK" fréquemment rencontrée au cours de la séquence, qui apparaît dans la plupart des fenêtres de communication du Macintosh, et à travers laquelle l'utilisateur peut annoncer qu'il est d'accord sur des caractéristiques ou des informations, ou qu'il a pris connaissance d'un message, pour débloquer le procédé qui était en action. Cette option a donc toujours eu plus de chance d'être sélectionnée par les élèves que "chercher autre élément".

A part la signification attribuée à la boucle de sélection en général et aux messages de requête en particulier, d'autres facteurs peuvent influencer sur la sélection de la face, intentionnellement ou non : des clics aléatoires du bouton de la souris qui peuvent tomber dans l'une ou l'autre des deux fenêtres contenant les deux options ("chercher autre élément", "sélection OK"), des essais de sélectionner "chercher autre élément" même sans prise de conscience de son rôle, etc....

Examinons le cas de : vue de face, "a1.1" :

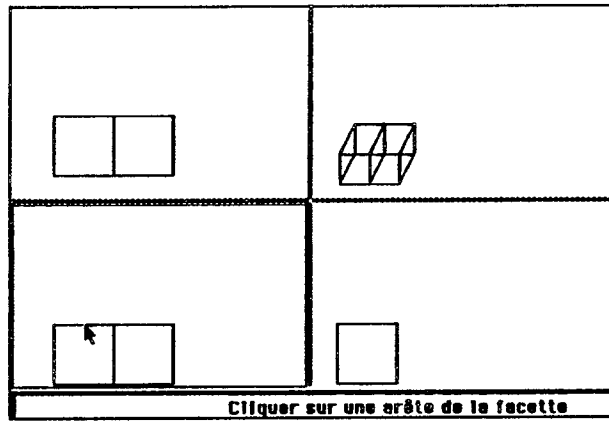


fig.V.29

Par cette arête, sont concernées trois faces :

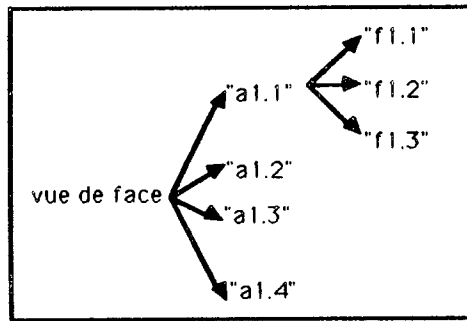
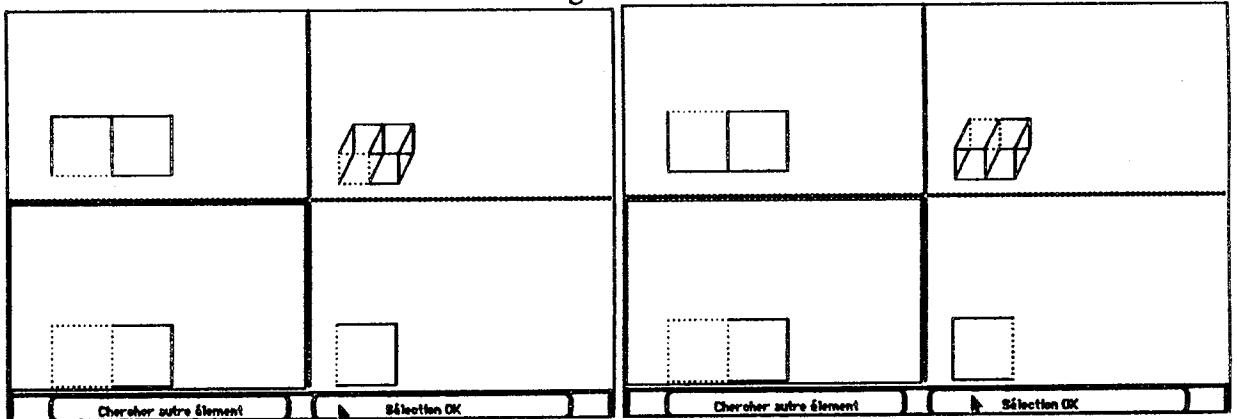
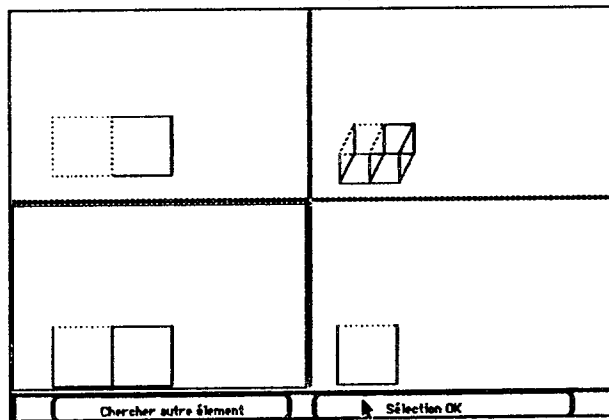


fig.V.30



"f1.1"

"f1.2"



"f1.3"

Quant à l'arête a2.2 (cas où la fenêtre de la vue de dessus est sélectionnée), cinq faces peuvent être concernées... et ainsi de suite...

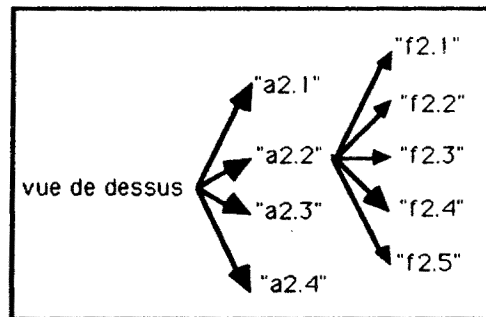


fig.V.31

Dans les différents cas possibles, les résultats graphiques possibles présentent une grande diversité, surtout vis-à-vis de l'interprétation que peuvent leur attribuer les élèves.

Sauf pour le résultat graphique correspondant à la bonne solution, l'obtention de l'un ou l'autre de ces résultats mettra les élèves face à une situation inattendue. Leur réaction est : soit d'interpréter cette situation pour dégager le facteur cause de tel résultat, soit d'abandonner la stratégie correspondante en considérant qu'elle n'est pas adaptée. Le deuxième terme de l'alternative est le plus fréquent, compte tenu de l'abondance des facteurs qui peuvent entrer en jeu, et de la complexité du type d'interaction avec le logiciel.

v) Réponse à la requête : "Hauteur" :

A ce niveau, l'élève considère qu'au cours de la phase précédente il a indiqué à la machine "là" où il veut construire le cube. Pour cette situation la requête "hauteur" ne pose pas de problème crucial, compte tenu du fait que la seule donnée numérique du problème est 10. Les élèves savent que dans toutes les directions principales les dimensions des composants de l'assemblage sont égales. Par contre, dans d'autres situations, la nomination de cette requête "Hauteur" peut poser problème; elle déstabilise quelques stratégies valables, celles où l'utilisation de la procédure "Pri." se fait dans les fenêtres de la vue de face ou de la vue de côté.

Certes, cette complexité était prévue dans notre analyse a priori, mais nous espérons que la mise en pointillés serait perceptible et susciterait une recherche de sa signification et de son rôle fonctionnel dans la désignation de la face qui jouera le rôle de "base de construction", surtout dans le cas où une telle face n'est pas située à un niveau de traitement nul. Il s'est avéré que, même lorsque le "problème des étages" était posé d'une manière cruciale, et même lorsqu'il est fixé comme étant le sous-problème qui bloque l'aboutissement de la construction, le phénomène des pointillés n'a jamais été remarqué.

d) raisons relevant du déroulement de l'activité des élèves et du conditionnement de leur action

Nous pensons qu'une des raisons qui ont rendu encore moins probable la découverte par les élèves du mode de fonctionnement relève du déroulement de leur activité (depuis l'activité semi-guidée) et leur interaction avec le logiciel jusqu'au moment où le problème des étages a été posé.

En effet, jusque-là, les élèves construisaient une représentation du mode de fonctionnement de la procédure "Pri." dans des situations qui ne posent pas le problème de la sélection (semi-guidée et Pavé). En rapport avec la situation "Pavé", celle au cours de laquelle cette représentation a acquis un degré d'élaboration assez avancé, la fonction primordiale et dominante de la procédure "Pri." était de communiquer à la machine la valeur de la hauteur. Donc, parmi les deux paramètres de cette procédure, le paramètre "base de construction" a été marginalisé de par l'évidence de son choix (il fallait désigner la base de construction dans une fenêtre contenant une seule face).

Les répliques des élèves montrent cette marginalisation : comme nous l'avons montré dans l'analyse de l'activité "Pavé", les élèves identifient l'application de la procédure "Pri." à un moyen pour introduire la valeur de la hauteur. Dans la situation présente, ils anticipent les difficultés relevant du "problème des étages" en mettant en évidence le fait qu' *"il y a différentes hauteurs il y a deux hauteurs, il y a pas qu'une "*

D'autre part, l'option "sélection OK" a pris, au cours des multiples essais d'application de "Pri." dans une telle situation, un sens particulier : celui de l'incitation à progresser dans le procédé, comme nous l'avons déjà signalé dans § I.4. du chap.III. Par répétition, l'action de sélectionner cette option devient une habitude, défavorisant toute réflexion ultérieure sur sa signification, et rendant encore moins perceptible l'effet des pointillés, à cause de l'élimination des occasions favorables au déroulement cyclique d'un tel phénomène.

Les quatre raisons exposées dans le paragraphe, conjuguées avec le déroulement de l'activité des élèves, nous ont incitée à construire, au sein de la séance "Assemblages 2", une phase collective autour du "problème des étages" et particulièrement de la boucle de sélection.

III. 3. Algorithmes généraux de solution :

Rappelons que cette partie de l'analyse vise à reconstituer, si possible, les représentations internes de la solution qui régissent, à un moment donné de leur activité, la décision par les élèves d'adopter telle ou telle procédure et leur structuration de ces procédures. Une marge d'incertitude caractérisera inévitablement une telle reconstitution, surtout aux moments où l'algorithme de solution est contré par des contraintes de la tâche ou du dispositif, ce qui amène une modification, voire un abandon de la procédure courante. De tels moments seront aussi objet de notre étude.

(Pour la suite des procédures utilisées par chaque binôme et les états de l'écran obtenus, voir l'annexe)

III.3.1. (David, Rachel) :

a) Le cube comme entité globale à reproduire :

C'est la représentation de solution selon laquelle l'assemblage est conçu comme un ensemble d'unités cubiques identiques. Selon cette représentation, les possibilités supposées de l'outil informatique pourraient aider à reproduire une unité-prototype, qu'il faut commencer par construire.

((David, Rachel); au début)

R: on va voir si on peut coller... ah si, il y a "coller"; alors on fait un cube, et....

D: moi, je voulais un truc qui..... qui est tout fait... un cube... et comme ça, on a qu'à le copier

R: et tu penses le trouver où, ce cube ? dans le... le fichier ?

D: dans l'album

R: ah oui, dans l'album..... attends, on va voir (ils appellent l'album, opération déjà utilisée au cours de l'activité "Simulation")... non, il y est pas... ben... on peut le faire, de toute manière.... on le fait, on le met en mémoire, et après on le colle

Dans ce passage, on touche à l'influence encore stable des pratiques utilisées avec succès au cours de l'activité "Simulation". Il serait intéressant de noter que ce binôme est le seul à avoir réessayé d'adapter ces procédures, au cours de la séance présente. Ceci prouve que l'échec de ces procédures au cours de la séance précédente n'était pas suffisant pour les dévaloriser. Nous pensons trouver la raison d'un tel phénomène dans un fait qui distingue la position de ce binôme par rapport à la procédure "copier-coller" : contrairement aux autres

élèves, David et Rachel avaient effectué leurs essais d'adaptation de cette procédure, au cours de la séance précédente, avant toute autre manipulation ou construction; leur application de la procédure "copier-coller" était intervenue tout au début de leur activité dans le but d'examiner sa validité au sein du nouveau logiciel; ils ne l'avaient donc pas encore utilisée comme réponse à un problème particulier auquel ils étaient confrontés, ou comme moyen de réduire le coût de la solution. Dans la séance présente, ils n'appliquent effectivement la procédure "copier-coller" qu'après avoir construit la représentation du premier cube, donc, en ayant un objet graphique à copier; cette fois, leur application de la procédure est davantage fonctionnelle qu'exploratrice.

D'autre part, le dialogue des deux élèves montre que leur représentation de la solution est assez élaborée au niveau intellectuel, avant même de commencer la réalisation. Rachel en a donné la preuve en organisant verbalement les étapes principales de l'algorithme : "*on le fait (elle parle du cube-prototype), on le met en mémoire, et après on le colle*", David l'a donnée en anticipant sur la nécessité de trouver un moyen pour positionner la représentation du nouveau cube par rapport au précédent :

((David, Rachel); Etat E2)

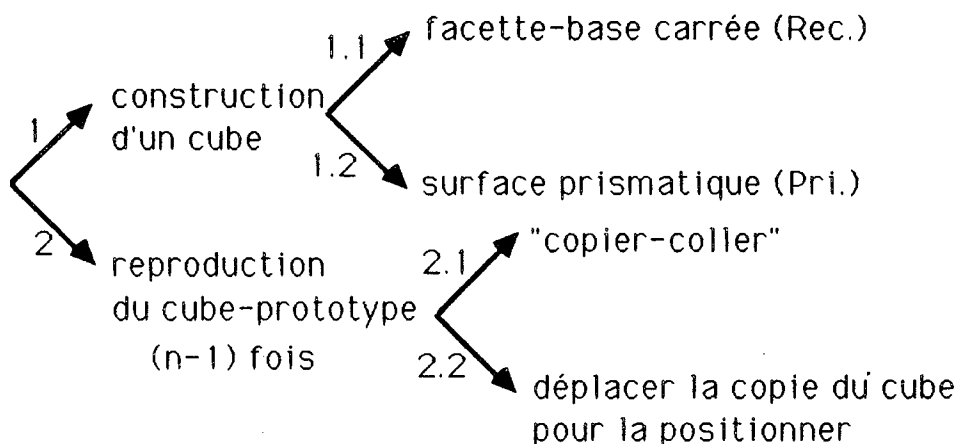
D: oui, mais comment tu vas faire pour....

R: copier

D: ... pour coller après, pour coller celui-là, là? parce que celui-là, il est ici.... comment tu vas coller celui-là à côté?

R: on va essayer d'abord; on verra après

Ce premier algorithme de solution (non réalisé jusqu'à sa fin à cause de la non-adaptation des procédures de la deuxième phase) peut donc être représenté par le schéma suivant :



(n étant le nombre des cubes composant l'assemblage)

La représentation interne que se font les élèves de la première phase de l'algorithme intègre le mode de fonctionnement du logiciel Mac Space. Celle de la deuxième phase est fondée sur l'hypothèse d'une ressemblance de fonctionnement entre Mac Space et Mac Paint, en ce qui concerne la procédure "copier-coller". Les procédures s'intégrant dans la lignée de cet algorithme s'étendent jusqu'à la procédure n°5.

Cette dernière illustre un essai par les élèves de compenser l'effet de la procédure "copier-coller" par une autre : "ça a l'air de déplacer", dit Rachel en sélectionnant l'icône n°3. Plus tard, en expliquant l'idée qu'elle se faisait de la fonction de cette procédure : "ben... parce que je pensais que c'était.... que ça laissait le même, et que ça le reproduisait à côté".

(pour avoir une idée du mode de fonctionnement de la procédure représentée par l'icône n°3, voir § III du chap.III : schéma n°III.6). Les réponses de Rachel aux requêtes de la machine, au cours de la séquence de dialogue déclenchée par la procédure n°3, laissent transparaître sa conception globale du cube, comme entité transformable, non décomposable; une telle conception n'est pas compatible avec celle du logiciel, ce dernier ne permettant l'application des transformations que sur les facettes. Ainsi, avec l'intention de sélectionner la représentation complète du cube, Rachel, par la procédure n°5, a validé d'abord le point A de la "vue de dessus", comme "origine", puis le point B de la même vue, comme "extrémité" (fig.V.32).

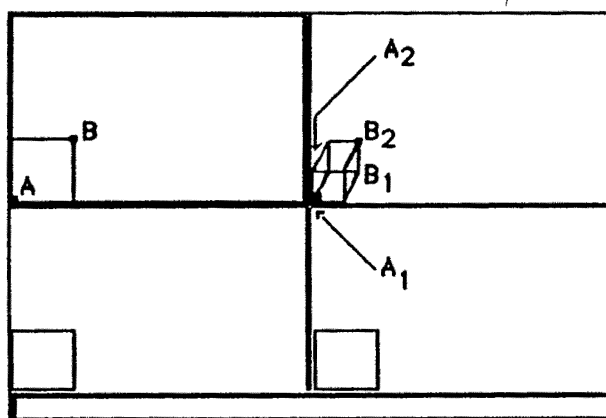


fig.V.32

Son choix contient un implicite que Rachel ne possède pas encore le moyen d'expliciter : c'est celui correspondant à la désignation des points que Rachel considère représentés par les deux points A et B sélectionnés dans la vue de dessus. Son but est, en fait, de valider les deux extrémités d'une diagonale du cube, ce qu'elle considère suffisant

pour sélectionner le cube tout entier (par rapprochement et extension de la définition d'un rectangle par les extrémités d'une de ses diagonales). Rachel exprime, d'ailleurs, cette intention :

((David, Rachel); 5,f)

R: non, si tu veux, c'est une diagonale.... je pense.... origine et extrémité, ça doit être le point en bas,..... et le point en haut (elle indique les points A1 et B2 dans la fenêtre 3D).... je ne sais pas, hein? je pense...

Ainsi, partant du choix des deux points sommets du cube, et réalisant la sélection dans la fenêtre de la vue de dessus, Rachel sélectionne les points-projections de ces sommets; ainsi, dans le sens :

composants du cube ----> vue de dessus, les images des deux points A1 et B2, concernés par la sélection, sont respectivement A et B. L'implicite réside dans le fait que, dans le sens contraire, et compte tenu de la non-injectivité de la projection, un point sélectionné dans la fenêtre de la vue de dessus peut représenter plusieurs points de la configuration; sauf indication explicite de la part de l'utilisateur, le logiciel choisit par défaut le point de niveau de traitement nul. Ainsi, les deux points de la configuration, concernés par la sélection de A et B, sont effectivement A1 et B1 respectivement.

Un tel implicite dans l'action de Rachel révèle deux faits :

- * un certain anthropomorphisme selon lequel le logiciel peut agir selon sa propre intention et son choix implicite des points,

- * une conception assez stable du cube comme entité non décomposable, écartant l'idée que sa sélection n'aurait pu porter que sur une facette composante du cube.

Une fois le résultat graphique de la procédure affiché, Rachel réexplique son choix des deux points :

((David, Rachel); Etat E3)

R: puisqu'on avait une origine et une extrémité, alors j'ai pensé que ça voulait dire que c'était une des diagonales d'un cube... de la figure.... ça aurait pu être ça

D: je pense que c'est pas cette icône qu'il fallait prendre

On peut schématiser cette évolution par la succession d'actions et de décisions suivante :

Sous-but : obtenir la représentation d'un deuxième cube, adjacent au premier (situé à droite du premier).

Représentation de la solution : reproduire le cube représenté et le placer à la position précise.


Conception sous-jacente du cube : entité non décomposable

Echec de la procédure "copier-coller" =====>



Procédure ayant le même sous-but : la procédure

Dressons un tableau, aidant à comparer le mode effectif de fonctionnement du logiciel, et les interprétations qu'attribuent les élèves aux informations ou requêtes affichées. Notons que, le long de la séquence de dialogue déclenchée par la sélection de l'icône n°3, le cadre de référence des élèves dans leur interprétation est leur hypothèse sur la fonction possible de la procédure.

Unité Informationnelle	Interprétation du logiciel	Interprétation par les élèves
	Duplication d'une facette selon le mode de transformation en vigueur (ici translation)	Duplication du cube, création d'un cube adjacent placé à côté du cube précédent
Facette sur une arête de la source	facette à laquelle s'appliquera la transformation	réponse à un ordre de l'ordinateur, sans utilité fonctionnelle
+ Origine	Paramètre de la transformation : origine du vecteur de translation	composant de l'objet de transformation (le cube) : extrémité d'une de ses diagonales
- Extrémité	Paramètre de la transformation : extrémité du vecteur de translation	composant de l'objet de transformation (le cube) : l'autre extrémité de sa diagonale

b) construction "cube par cube", avec répétition alternée des deux procédures : "construction d'une facette, construction d'une surface prismatique à la base de cette facette".

L'algorithme précédent considère le cube comme une entité non décomposable, à partir du moment que le cube-prototype est construit. Cette unité géométrique reprend alors le statut qu'elle avait au cours de l'activité "Simulation". Puisque les contraintes du logiciel utilisé ne permettent pas une telle solution, et partant du résultat graphique de la procédure n°5, les élèves ont recours à un autre algorithme, remplaçant le rôle de la procédure "copier-coller" par une reconstruction de chacun des cubes composants. La branche (2) de l'algorithme précédent est alors éliminée, l'algorithme (qui n'a pas été non plus suivi par les élèves jusqu'au bout) consiste en la répétition n fois de la branche (1).

Cette modification de stratégie nous procure un exemple illustrant le rôle de l'interaction élève-ordinateur dans l'évolution des stratégies et des conceptions des élèves : Nous pensons que le résultat de la procédure n°5 (état E3), inattendu par les élèves, a favorisé une telle évolution. En effet, il a orienté vers une conception plus analytique du cube que celle sous-jacente à l'algorithme précédent (entité non décomposable). L'adoption du nouvel algorithme s'est produite, en fait, suite à une volonté de corriger la position du carré obtenu par la transformation de la base du cube déjà construit, transformation non voulue par les élèves :

((David, Rachel); Etat E3)

D: pourquoi ?... il doit pas être comme ça... ça doit être droit

R: non, parce qu'il demande l'origine et l'extrémité pour dessiner le cube

D: ben oui, mais.... ça doit être comme ça (d'après le geste, il veut dire : adjacent à la base du cube déjà construit)

Nous pensons que le résultat graphique inattendu a joué un rôle important à ce niveau : la réaction des élèves à ce résultat n'a pas provoqué un retour sur la procédure utilisée ou les valeurs ayant été affectées à ses paramètres; les élèves n'ont pas essayé de revenir sur leur interprétation de la fonction ou du fonctionnement de la procédure utilisée. Par contre, le résultat a été évalué par rapport au sous-but initial : Au lieu d'obtenir la représentation d'un cube adjacent par le côté à celui déjà construit, ils ont obtenu une facette, ayant une position par rapport au cube déjà construit, ne répondant pas aux exigences de ce sous-but. Or, cette facette peut jouer le rôle de base d'un cube... si on arrive à rectifier sa position. ainsi, a été inférée une deuxième représentation de la solution, basée

sur la décomposition généralisée de la structure du cube (pas seulement le cube-prototype), et sur la conception du cube comme une surface prismatique fermée bâtie à la base d'une facette à construire.

Quoique cet algorithme de solution ait été favorisé par le résultat de la procédure n°3, les élèves ont utilisé pour sa réalisation une autre procédure, plus simple et plus sûre : "Rec." dont ils savent qu'elle produit un résultat analogue, avec plus de facilité pour déterminer la position du carré à construire.

Les procédures s'intégrant dans la lignée de cet algorithme de solution s'étendent jusqu'à la fin de l'activité des élèves; pourtant, une coupure est à signaler :

* Au niveau de la procédure n°7 :

Par cette procédure, l'activité de ce binôme ne se situe pas totalement dans la logique de l'algorithme 2), car l'application de la fonction "Pri." n'a pas été précédée par la construction d'une facette qui servirait de base de construction. Nous pensons que cette procédure représente, en fait, la manière spontanée de ce binôme pour répondre au "problème des étages". En effet, leur sélection de la fenêtre de la vue de face révèle leur essai de situer la stratégie dans une fenêtre où l'on puisse "voir" les deux faces des deux cubes superposés (contrairement à la fenêtre de la vue de dessus). D'autre part, en cliquant "sur une arête de la facette", ils avaient l'intention d'indiquer le dessus du cube déjà construit, comme nouvelle base de construction. Selon le mode de fonctionnement de la boucle de sélection, c'est la face de ce cube qui a été sélectionnée.

Il est aussi intéressant de signaler que l'algorithme de solution effectivement mis en œuvre par ce binôme n'a pas été modifié suite à la phase collective, concernant le mode de fonctionnement de la boucle de sélection. Pourtant, une discussion entre les deux partenaires révèle chez Rachel une autre représentation interne de la solution, basée sur les informations présentées aux élèves au cours de cette séance. Sa proposition n'a pas été effectivement mise en œuvre à cause de l'opposition de David. Nous opposerons plus profondément les deux points de vue des deux partenaires vis à vis de ce problème dans le paragraphe III.6.

III.3.2. (Eric, Richard) :**a) construction par faces de l'objet :**

Les deux élèves s'étaient mis d'accord pour commencer par la "vue de face". Pourtant, ils avaient deux représentations différentes de la solution, s'intégrant chacune dans un cadre de référence différent : Richard situe son algorithme dans le cadre du "dessin technique", en considérant que la solution réside dans la construction des trois vues de l'objet. Eric, par contre, situe son algorithme dans le cadre informatique, concernant la logique du logiciel, de construction par facettes et de positionnement de ces facettes. Signalons qu'on peut expliquer la persistance de Richard à adopter des modèles de solution du dessin technique par sa courte expérience avec Mac Space, compte tenu du fait qu'il était absent au cours de la séance précédente.

L'opposition entre les deux représentations de la solution s'est manifestée au niveau de la procédure n°4, au moment où les élèves devaient représenter la face (ou la vue de face) de la pile de deux cubes "droite, devant".

((Eric, Richard); Etat E4)

R: maintenant, celui de devant.... celui de devant, celui de dessus

E: oui.... remarque, là c'est un problème

R: il faut se mettre là (il indique le coin du carré de droite de la vue de face)....

E: il faudra peut-être mettre de la perspective

R: quoi, de la perspective?

E: là, on n'a que des carrés, il faut...

R: oui, mais.... de face, hein? t'es en vue de face, hein?... on ne peut avoir que des carrés.... même quand t'as deux carrés l'un devant l'autre, eh ben.... tu vois ? donc, celui-là (il indique le cube "droite, devant, en-haut"), il serait là-dessus.... et celui-là (il indique le cube droite, devant, en-bas"), il n'existerait pas.... on ne peut pas faire autrement

Le dialogue précédent indique que Eric. touche au problème des dénivellations entre les différentes facettes à représenter dans la fenêtre de la vue de face. Il exprime la nécessité de trouver un moyen d'expliciter la position à laquelle doivent être positionnées les facettes construites, ceci selon la troisième dimension non représentée par la fenêtre de traitement (ici, la profondeur, car le travail se fait dans la fenêtre de la vue de face). Sa suggestion de "mettre de la perspective" s'intègre dans la recherche d'un tel moyen; en effet, il ne peut accepter la "mise à plat" de toutes les faces de cubes ayant même projection; "mettre de la

perspective " contribuera à faire la part entre ces faces, et à les situer les unes par rapport aux autres, ce qui explicitera les différents niveaux de profondeur que la "vue de face" ne peut représenter. Ce n'est qu'alors qu'on pourrait peut-être trouver un moyen de se positionner par rapport à l'une ou l'autre des faces.

Quant à Richard, il ne voit aucun inconvénient à ne pas pouvoir distinguer les différentes dénivellations de profondeur dans la vue de face. Au cours du long débat entre les deux partenaires sur la validité du dessin obtenu (Etat E5), l'argument principal de Richard relève de la logique du dessin technique : *"oui, mais en vue de face ça ne se voit pas... si tu travailles en vue de face, tu vois comme ça au lieu de voir le dessus"*. Les arguments d'Eric relèvent, par contre, de la relation entre l'espace de l'objet et l'espace graphique de la fenêtre 3D; en effet, d'après son expérience avec Mac Space, il sait que le contrôle doit se faire à partir des composants du dessin obtenus progressivement dans cette fenêtre, et que le contrôle par les vues n'est pas suffisant. C'est lui, d'ailleurs, qui ouvre le débat sur la correspondance entre les composants de l'objet et ceux du dessin, jusque-là obtenus :

((Eric, Richard); Etat E5)

E: c'est lequel, celui-là (il indique le carré "gauche, en-bas" de la fenêtre 3D) ?... c'est ce cube-là (il indique le cube "gauche, derrière, en-bas" de l'assemblage)

R: non... c'est celui-là (le cube "gauche, devant, en-bas")

E: ah oui, d'accord... oui, si tu le vois de face, oui.... alors c'est la face-là (face du cube).... mais alors... comment ça se fait qu'ils sont pareils, ces deux-là ? (il indique les deux carrés de gauche de la vue 3D)

R: mais... c'est la vue de face, tu vois toujours pareil.... en dessin technique, c'est bon là, hein ?

Encore confronté à l'argument du dessin technique, Eric avance un autre argument, concernant le nombre des cubes à représenter, pour convaincre Richard que les informations représentées ne sont pas suffisantes

((Eric, Richard); Etat E5)

E: oui, mais il faut lui dire qu'il n'y a pas que 5.... qu'il y a 7 cubes

R: oui, mais.... en dessin technique, tu vas lui dire qu'il y a une face derrière ?

Désarmé par cet argument constant de "dessin technique",

E: mais.... il n'est pas complet, le dessin (il parle du dessin en perspective)

R: si, il est complet (il parle du dessin dans la fenêtre de la vue de face)

E: ah bon?... mais enfin... il faut au moins qu'on ait en axonométrie le...l'espace, ce serait peut-être mieux.... la vue de face, elle est bonne, admettons.... mais n'empêche qu'on devrait peut-être lui donner une hauteur 10... pour pas qu'il soit.... qu'un carré... les cubes.... là, ils ont rien là-dessus

L'utilisation du mot "hauteur" évoque la procédure "Prisme" au sein du logiciel Mac Space; en effet, comme nous l'avons noté au cours de l'analyse des activités "Pavé" et "Assemblage 1", les élèves ont associé la procédure "Pri." à la hauteur, car pour eux, la fonction principale de cette procédure est de permettre de communiquer à la machine la valeur de la hauteur (le travail a souvent été effectué dans la fenêtre de la vue de dessus). Ceci nous donne un autre indice pour situer la représentation interne que se fait Eric de la solution, dans le cadre de sa connaissance des possibilités du logiciel utilisé.

Cet arrêt prématuré du débat sur la validité du dessin obtenu a donné lieu à une proposition, complétant la représentation de la solution "construction par faces de l'objet" :

((Eric, Richard); Etat E5)

E: donc, il faut travailler en vue de dessus maintenant.... ah oui!.... peut-être que.. on refait les mêmes carrés là (il indique le dessus de l'assemblage), mais en vue de dessus

R: c'est trop compliqué...

E: c'est ça qu'il faudrait faire.. et après, la vue de côté... oh ce serait compliqué

Rapidement donc, et dès que la construction excède une des faces de l'assemblage, l'algorithme de construction "par faces" est abandonné, à cause de sa complexité, résultant de la nature des objets concernés.

b) construction à l'aide de la procédure "Prisme" :

A l'abandon de l'algorithme précédent de solution, on peut noter chez Eric un retour sur son idée de la nécessité de "donner une hauteur"; encore une fois, il confirme l'association entre le mot "hauteur" et le fait de créer un objet à trois dimensions : "je suis sûr qu'il faut donner une hauteur 10..... c'est la hauteur qui détermine qu'il y a une perspective". Une telle association, mobilisant des informations de la mémoire opérationnelle : "c'est quoi la hauteur déjà ?.... ah oui, c'est ça (icône "Prisme")".

La représentation qu'a Eric de la solution est de construire d'emblée les cubes dont les faces ont été représentées. A la requête : "cliquer sur une arête de la facette", il répond alors en sélectionnant le segment représentant la vue de dessus. C'était sa manière de

communiquer à la machine son intention de construire tous les cubes d'un seul coup; en effet, ce segment de la fenêtre de la vue de dessus présente une certaine unification des différents carrés représentés, par opposition à la vue de face, quadrillée par plusieurs carrés qu'il serait difficile de sélectionner d'un seul coup. La réponse de la machine (procédure n°6) et la proposition de Rachel l'incitent à modifier sa représentation de la solution :

((Eric, Richard); suite à n°6)

R: mais le rectangle, il est là, en vue de face (il parle du cadre rectangulaire indiquant la fenêtre sélectionnée)... il faut le prendre là (dans la fenêtre de la vue de face)

E: mais nous, on veut sur tout l'ensemble... sur tout ce trait, là (le segment de la vue de dessus)

R: essaye là de toute manière, on verra...

C'est l'expérience qui tranchera alors de l'algorithme de construction à adopter. D'après le résultat de la procédure n°7 (Etat E6), cet algorithme consistera à construire une par une les surfaces prismatiques, à la base des facettes déjà construites dans la fenêtre de la vue de face : "*donc, il faut recommencer à chaque fois*".

Les procédures s'intégrant dans la lignée de cet algorithme s'étendent jusqu'au n°11 (Etat E11). Le débat entre les deux partenaires à propos de la correction du dessin obtenu a été interrompu par la phase collective. A la reprise de l'activité, un nouvel algorithme de solution semble régir l'enchaînement des procédures du binôme :

c) construction "cube par cube", sur base de construction déjà existante :

Cet algorithme est fortement inféré par les informations données au cours de la phase collective, à propos de la boucle de sélection.

L'algorithme de construction consiste à construire un premier cube (application de "Rec." et "Pri." successivement), puis à construire les cubes qui lui sont connexes, en utilisant les faces de ce cube déjà construit comme bases de construction. Un tel algorithme nécessite des changements de fenêtre, selon la position du nouveau cube en cours de construction, par rapport à l'ancien. Notons que, d'après la composition de l'assemblage concerné, il est possible d'achever la construction jusqu'au bout, selon cet algorithme. Pourtant, son application s'est arrêtée à la procédure n°15 (qui a donné lieu à l'état E14), à cause d'une erreur de sélection : à la confirmation de la sélection de facette par "sélection OK", la facette sélectionnée était celle du côté droit du premier cube :

((Eric, Richard); Etat 14)

E: on a un problème... il veut pas le faire là

R: il faut changer de face, je pense

E: c'est lequel qu'on lui a dit là ? le pointillé ? c'était pas la face de celui-là ? (il parle du cube d'en-bas; il part de l'hypothèse que le cube résultant de cette procédure devrait être le cube "gauche, devant, en-bas")

R: mais on les a essayés tous... il faut changer de face, je te dis

La réponse d'Eric à cette proposition confirme que le choix de construire les cubes sur des base de construction déjà existantes est un choix délibéré et conscient :

((Eric, Richard); Etat 14)

E: on prend quoi ? la vue de dess.... mais non, sur quoi tu vas le faire, ton cube ? il y a rien là, en vue de dessus.... ni en vue de côté d'ailleurs...

R: mais on le fait, on fait la base... là, il va comme ça parce que c'est la vue de face... si on veut qu'il monte comme ça, il faudra prendre la vue de dessus

La proposition de Richard incite à la reprise dès le début de la construction, selon un nouvel algorithme de solution :

d) construction "cube par cube" dans la fenêtre de la vue de dessus, avec alternance des deux procédures : "Rec." et "Pri." (sauf pour les cube du 2^o étage, pour lesquels la procédure "Rec." est épargnée car la base existe déjà)

Cet algorithme sera adopté avec succès jusqu'à la fin de la séance, qu' intervient avant la fin de la construction. "*c'est pas grave, de toute manière on a trouvé le système*", dit Eric En effet, la représentation de la solution était assez élaborée chez ce binôme, et leurs procédures étaient construites intelligemment et confirmée par la réalisation.

III.3.3. (Olivier, Stéphane) :

a) construction "cube par cube", en alternant les deux procédures "Rec." et "Pri."

Il consiste en la construction de chacun des cubes en deux phases : une base de construction (souvent horizontale, représentant la base du cube), et une surface prismatique dont la directrice est cette base de construction. Nous pouvons remarquer la stabilité chez ce binôme de cet algorithme; en effet, c'est ce même algorithme qui a guidé son activité au

cours de la séance "Assemblage 1". Nous pensons que cette stabilité est liée à la conception assez spontanée qu'ont les élèves du cube comme un pavé droit particulier, conception qui a guidé leurs procédures au cours de la séance précédente; le succès de ces procédures les a favorisées et stabilisées au cours de la séance présente.

Mis à part un essai non réussi de construction dans la fenêtre de la vue de face (procédure n°3), la réalisation de l'algorithme s'est déroulée, jusqu'à la procédure n°9, selon le schéma :

- * base du cube : procédure "Rec." dans la fenêtre de la vue de dessus, avec [10,10] comme dimensions; la position étant définie par rapport aux composants déjà construits,
- * surface prismatique : procédure "Pri." appliquée à la base ainsi construite, avec une hauteur de 10.

Ces procédures ont été alternativement répétées jusqu'à la fin de la construction de la première couche, base de l'assemblage. Pendant leur activité, l'anticipation par les élèves des difficultés ultérieures donne un indice sur le degré d'élaboration assez avancé de leur représentation de la solution : *"on n'y arrivera jamais dans la fenêtre de la vue de dessus.... [...] le plus dur, ça va être ceux de dessus"*. En effet, ils s'attendent à des difficultés d'après le résultat de la procédure n°3 (état E3), dont le but était de construire la face du cube situé à droite du cube déjà construit.

Un tel résultat les a conduits à la conclusion qu'il ne faut pas *"changer de face"*, et que le travail doit être effectué dans la même fenêtre (celle de la vue de dessus), pour préserver la connexité des composants. Avec cette contrainte, et puisque la "vue de dessus" ne permet pas la distinction des faces horizontales ayant même projection orthogonale, les élèves sont conscients que la construction des cubes du second étage posera problème. En effet, au sein de cette fenêtre, et en supposant connu le moyen d'élever le plan de traitement, l'action susceptible de créer le carré voulu est de redessiner la carré qui existe déjà dans cette fenêtre; action qui est considérée par les élèves comme inutile.

La construction des cubes de la première couche (base de l'assemblage) terminée, et selon le même algorithme de solution (base de construction, surface prismatique), les élèves ont fait deux essais pour la construction de faces des cubes du second étage, dans les fenêtres de la vue de face et de la vue de côté. Ces essais ont abouti à un résultat analogue à celui de la procédure n°3.

b) même algorithme que a), en respectant un ordre particulier dans la construction des cubes :

Désarmés devant "le problème des étages" (qui sera analysé dans un paragraphe suivant), les élèves reprennent la construction en prenant une décision concernant l'ordre dans lequel ils construiront les cubes : "dès qu'on a fini une face, on construit celle de dessus". D'après les procédures fondées sur cet algorithme (à partir de la procédure n°11), une représentation particulière du fonctionnement de la machine transparaît derrière cet algorithme : les élèves supposent qu'une nouvelle construction démarrera là où la précédente s'est terminée. Ainsi, ils pensent que la face qui était mal placée suite à la procédure n°11 (dernière procédure de l'algorithme précédent; Etat E11) aurait trouvé sa place exacte si elle avait été construite juste après la construction du cube qui la soutient. Le résultat de l'essai n'est pas meilleur que le précédent (Etat E14).

c) Positionnement par déplacement de composants déjà construits :

Une autre stratégie est envisagée par les élèves, suite à l'échec constant manifesté par la non-connexité des composants dernièrement construits. La nouvelle stratégie consiste à essayer de déplacer les représentations de composants déjà construits (probablement les cubes), puisqu'on ne peut pas en construire de nouvelles, à la position voulue.

Leurs essais portent d'abord sur les icônes présentant une flèche :



A l'annulation de l'effet de la première, ils lisent la commande d'annulation correspondante, affichant le nom de cette procédure : "annuler 'tirer zone'... ça s'appelle 'tirer zone'... il doit y avoir un truc où il y a une flèche vers le haut... ça, j'en suis sûr... tirer sommet... annule... ça doit être... euh... tirer facette, peut-être... il faudrait même carrément tirer... tirer cube, si ça existe "

Ces suppositions et suggestions de recherche relèvent de la nouvelle représentation d'une solution possible, qui a été renforcée par les intitulés de commandes pouvant évoquer des opérations analogues à celles désirées. Par extension des représentations et du langage utilisé dans ces commandes (la flèche, "tirer zone", "tirer sommet", "tirer arête"), les élèves essayent de trouver un moyen pour réaliser les opérations constituant leur idée : "une flèche

vers le haut" car leur but est d'avoir accès à un niveau de traitement plus élevé, "tirer facette" pour pouvoir déclencher la construction de la surface prismatique à partir de la face-dessus d'un cube déjà construit, "tirer cube" qui serait la meilleure, pour déplacer d'emblée la représentation d'un cube déjà construite.

N'ayant pas de résultats compatibles avec leur attente, les élèves rentrent dans un cycle d'essais non coordonnés, révélant l'arrivée à une impasse de leur recherche d'un moyen pour résoudre le "problème des étages".

d) "cube par cube", avec application de "Pri." sur une base de construction déjà existante, sélectionnée au sein de la boucle de sélection :

Cet algorithme a été appliqué par les élèves pour la construction des deux cubes du "second étage", après la phase collective. Ils ont directement transformé les informations présentées au cours de cette séance pour les adapter au problème auquel ils étaient confrontés.

Avec cet algorithme, les élèves mènent à bout la construction de l'assemblage.

III.4. Evolution de la représentation du système de référence :

III.4.1. Mise au point :

Rappelons qu'au cours de l'activité précédente (Pavé droit) les symboles figurant dans la fenêtre de communication, et surtout x et y, avaient pris leur statut de "coordonnées-mesures" lors de la construction d'un rectangle dans la fenêtre de traitement correspondante. Ce statut a été accordé par analogie, et en référence aux connaissances qu'ont les élèves à propos du repérage plan.

Comme nous l'avons signalé dans l'analyse de la tâche présente (§ I), la situation présente met au second plan le problème des mesures, de par la nature même des objets concernés. En effet, à chaque opération graphique, une seule valeur (10) doit être affectée aux paramètres désignant les mesures des objets géométriques à construire, abstraction faite de la direction principale de l'espace dans laquelle une telle mesure est prise.

Cette caractéristique écartera momentanément la nécessité de construire les correspondances entre les directions de déplacement du curseur dans les fenêtres de traitement, d'une part, et les modifications des valeurs de x , y et z dans leur état de coordonnées relatives (après validation d'un premier sommet), d'autre part.

Pourtant, à plusieurs reprises, et selon la fenêtre de traitement choisie, les élèves ont été confrontés à la signification que peuvent avoir les symboles x , y et z par rapport aux caractéristiques numériques de l'objet, et aux traitements effectués au sein du logiciel. Pour les trois binômes étudiés, c'est surtout au cours du travail dans la fenêtre de la vue de face que ce problème de signification s'est posé. Face à cette situation exigeant une telle construction de sens (surtout pour le symbole z), on peut noter plusieurs réactions des élèves :

III.4.2. position des élèves vis-à-vis de la signification des symboles x, y, z

a) Changement de fenêtre :

L'exemple d'une telle attitude est donné par Eric et Serge, au début de leur activité au cours de la séance "Assemblage 1". En effet, tout au début (avant même procédure n°1), ils avaient commencé la construction dans la fenêtre de la vue de face, avec la procédure "Rec."

((Eric,Serge); Ass 1; au début)

E: 10 et 0 (il parle des valeurs affichées de x et de y)

S: comment on avait fait pour....

E: non, parce que c'est la vue de face, ça; c'est pour ça qu'il y a zéro

S: 10.... c'est carré ça ? (il règle la valeur de x , et essaye d'approcher perceptivement la forme carrée)

E: oui, c'est bon... je pense, hein ?.... (court silence)... z , c'est quoi?

S: je ne sais pas....

E: on n'a peut-être pas dû commencer par la vue de face

S: on aurait dû faire... vue de dess... oui, vue de dessus

Jusque-là, ce binôme n'a pas été confronté à la signification de z ; en effet, dans l'activité "Pavé", les deux élèves ont rapidement opté pour la construction globale (avec "Pri."), en adoptant une base de construction représentée dans la fenêtre de la vue de dessus. Seule la signification de x et de y a donc été envisagée.

Dans la situation présente, et voulant s'appuyer sur les valeurs de x et de y pour régler les dimensions du carré, ils trouvent $y=0$. Leur première réaction est de se contenter de la valeur 10 de x , en essayant d'approcher la forme carrée. Ce n'est que tardivement qu'a été remarquée la modification des valeurs de z (jusqu'à là toujours nulle, donc, faisant partie des caractéristiques constantes de l'écran). Au lieu de chercher à lui accorder une signification, les élèves décident de changer de fenêtre, et d'effectuer la construction dans la fenêtre de la vue de dessus, stratégie qui re-situe le travail dans des conditions "normales", au sein desquelles les valeurs variables seront celles de x et de y , reconnues comme "coordonnées" ou comme "mesures".

b) Extension à z des significations de x et de y comme "coordonnées-mesures" dans une des fenêtres :

Cette conduite est illustrée par David et Rachel, déjà confrontés au même problème (cf. § III du chap.IV) :

((David, Rachel); Ass2; 9,b)

D: pourquoi là c'est zéro ?

R: $y=0$?..... j'en sais rien du tout

D: on s'occupe avec z alors... puisque c'est z qui monte

R: z , c'est la hauteur... là, on est en vue de face, alors c'est la hauteur..... 10.50..... 10

De même que pour Eric et Serge, la question autour de la signification de z s'était posée à cause de la valeur nulle de y . Ce dernier fait n'a pu être interprété par les élèves. Par contre, ils ont tenté d'attribuer un sens aux valeurs de z , ce qui a donné lieu à :

* une règle d'action exprimée par D. qui s'appuie sur l'unicité de la donnée numérique du problème (10 dans toutes les directions principales de l'espace) pour déduire qu'il faut affecter la valeur 10 à tout paramètre variable. Si ce n'est y qui est nul, ça doit être z

* une interprétation plus abstraite et générale, exprimée par Rachel, et davantage liée à la structuration de l'espace par les trois directions de côtés des carrés. Cette interprétation est aussi basée sur une analogie avec la structure de la fenêtre de la vue de dessus, dont elle sait qu'elle est gérée par x et y , et qu'elle représente "la longueur et la largeur".

c) extension à z de la signification de x et de y comme "coordonnées-mesures", avec essai de coordination des trois coordonnées :

Cette conduite est illustrée par Olivier et S. au cours de leur activité dans "Assemblage 2". Il est intéressant de signaler que les élèves se sont posés eux-mêmes la question de la signification de z, pendant que cette dernière était dans un état statique ($z=0$); tandis que les autres binômes ont envisagé la question dans une situation d'interprétation d'informations affichées à l'écran, Olivier et S. l'ont envisagée dans une situation de recherche d'une solution à un problème précis, solution qui pourrait être inférée par la signification de z. Arrivés, après leur procédure n°14, à une impasse dans leurs essais de résolution du "problème de étages", transformé plusieurs fois en "problème des niveaux", les élèves ont pris conscience que le problème est concentré dans le fait qu'on ne peut pas faire varier en même temps les valeurs de x, y et z :

((Olivier, Stéphane); Ass2; après échec de n°14)

S: *et ce chiffre... euh... z, on ne peut pas le modifier?*

O: *z, ça veut dire quoi, en fait ?... c'est quoi ?*

S: *on ne sait pas encore... ça a peut-être un rapport avec ça... x, y, c'est les coordonnées... euh... en longueur et en largeur*

O: *z c'est toujours zéro*

S: *ah non, là tout à l'heure (procédure n°14), il n'était pas zéro.... attends, on va essayer*

La recherche d'une signification à z a donc commencé par un essai de construction d'un rapport avec les statuts de x et de y. Les essais de construire des rectangles quelconques dans les trois fenêtres confirment un tel rapport : les élèves déduisent, par analogie et par observation des variations, que z "est la coordonnée en hauteur..... c'est la hauteur".

La recherche des deux élèves ne s'est pas arrêtée là, ils ont cherché à structurer et coordonner les variations des valeurs de x, y et z par rapport à la fenêtre de traitement courante, et par rapport aux relations spatiales régissant les différents composants de l'objet représentables dans chacune de ces fenêtres :

((Olivier, Stéphane); Ass2; après échec de n°14)

S: *regarde, là, quand on est en vue de face, "y" reste à zéro*

O: *ben oui, c'est normal, parce que c'est... c'est la longueur... comme on est en vue de face, on ne voit pas la longueur*

S: *oui c'est ça... parce que... il y a que 2 dimensions, en fait... on ne peut pas aller dans la 3°, parce qu'on est dans la vue de face*

Par "longueur", Olivier veut désigner les composants linéaires de la configuration, portés par la direction normale. A ce stade de la coordination, les modifications des valeurs des "coordonnées-mesures" sont liées à la perception, et à la logique du système de vues : la vue de face ne révèle pas les segments normaux de l'objet représenté alors $y=0$), la vue de dessus n'en révèle pas les segments verticaux (alors $z=0$) et la vue de côté n'en révèle pas les segments horizontaux frontaux (alors $x=0$).

Cette interprétation marquant un pas vers la coordination des statuts des trois coordonnées, dans une structure spatiale, remet à jour le problème principal auquel les élèves étaient confrontés : le "problème des étages". Ils trouvent dans cette structure une possibilité de recherche d'une solution à ce problème :

S: si on pouvait... on doit réussir à travailler sur x, y et z à la fois.... c'est ça, regarde... pour travailler dans les 3 dimensions, il faut mettre la souris sur... là (la fenêtre 3D)

O: non, attends, on va essayer... la hauteur, il faut la mettre à combien ? (il travaille dans la fenêtre de la vue de face)

S: il faut la mettre à 10... oui, z, ça bouge

O: oui, mais on a la hauteur... on a pas la longueur

S: ah !... c'est pas idiot, ce que tu me racontes là... et t'en déduis quoi ?

O: on doit choisir celle-là (la fenêtre 3D)

S: ben oui... c'est ça... parce que, pour mettre un point précis, il faut que les 3 dimensions bougent à la fois... on travaille sur une feuille de papier, on ne travaille pas dans l'espace (il veut dire qu'en travaillant dans les fenêtres de traitement, c'est comme si on travaillait sur une surface plane, on n'a pas accès aux trois dimensions en même temps)... tu vois ?... là, on a 3 fenêtres... et l'espace,... (ils essayent la sélection) ah non, il veut pas... (court silence) sinon, il faudrait travailler directement dans l'axonométrie

O: mais il y a pas moyen

Ce dialogue est important dans la mesure où il instaure une sorte de correspondance entre les points de l'espace et les valeurs des triplets (x,y,z) : "pour mettre un point précis, il faut que les trois dimensions bougent à la fois". Cette fois, nous n'interprétons pas le recours à la fenêtre 3D comme un essai d'adaptation de techniques de dessin "papier-crayon", dans le sens figuratif d'accès direct aux points du dessin en perspective. Nous l'interprétons plutôt dans le cadre de la relation que les élèves ont réussi à construire entre les modifications coordonnées des valeurs des trois coordonnées d'une part et l'accès opératif aux points de l'espace d'autre part.

((Olivier, Stéphane); Etat E10)

O: il y a que la vue de dessus qui marche... la vue de face et la vue de côté non

S: on n'arrive jamais quand c'est dessus, parce que..... à chaque fois qu'on construit un cube, il atterrit n'importe comment; il va falloir d'abord désigner des coordonnées pour dire d'où on part

O: mais.... on peut pas travailler sur la vue en perspective ? j'aimerais bien travailler sur cette vue là... [...]....

S: il le met n'importe où.... il doit y avoir quelque chose à régler, je pense... et le point qui... il le prend peut-être au hasard, le point qu'on clique... il doit y avoir une raison de le mettre par là... on doit trouver une façon pour qu'il le mette au bon endroit.... en travaillant peut-être sur les autres vues

III.5. Evolution de la structuration de l'espace du logiciel en fonction de l'espace de l'objet :

III.5.1. Mise au point

Que les stratégies de construction adoptées par les élèves soient basées sur l'une ou l'autre des deux conceptions de l'objet :

* ensemble structuré d'unités spatiales non décomposables (cubes)

* ensemble structuré de composants plans (faces ou familles unifiées de faces),

la réalisation de la tâche posera nécessairement, à un moment ou à un autre, le problème de l'accès, par le graphisme, au représentant d'un point particulier, ou d'un plan particulier de l'espace de l'objet, non situé à un niveau de traitement nul.

Ce fait nécessaire provient de trois facteurs :

* le choix des configurations à représenter, de manière qu'elles comportent au moins deux couches de cubes dans chacune des trois directions principales de l'espace,

* la représentation particulière de l'espace tridimensionnel selon laquelle le logiciel est conçu (cf. § II du chap.III), et particulièrement l'idée que les vues ne représentent pas des projections, mais de vraies "vues" de l'objet spatial, selon les trois directions d'observation principales.

* les deux modes d'accès par l'action aux points ou plans de l'espace, offerts par le logiciel, tels que nous les avons présentés dans le § 1.5.2 : accès pour sélection (boucle de sélection) et accès pour construction ("3° coordonnée")

Dans l'analyse de la conduite des élèves face à ce problème d'accès particulier à l'espace, nous nous intéresserons surtout aux mécanismes de prise de conscience par les élèves de la particularité de cet accès. Cette prise de conscience devra être fondée sur une construction de rapports entre l'espace de l'objet réel et l'espace du logiciel. Cette construction sera accompagnée, à plusieurs moments, d'une recherche, dans l'interface du logiciel, d'outils ou de fonctions adaptables à la résolution du problème ou du sous-problème dans l'état résultant de sa transformation. Au cours d'une telle recherche, des outils particuliers offerts par le logiciel peuvent inférer une nouvelle transformation du problème de manière qu'il soit résoluble ou simplifiable par l'utilisation de ces outils.... et ainsi de suite.

Dans le paragraphe suivant, nous essayerons donc d'analyser ces processus de problématisation et de construction mentale de l'espace représenté par le logiciel. Nous nous baserons sur les productions et les interactions des élèves jusqu'à la séance collective ayant pour objectif de présenter le mode de fonctionnement de la boucle de sélection. Les productions et échanges qui ont succédé à cette séance collective seront analysés d'un autre point de vue.

III.5.2. Stratégies de résolution et représentations sous-jacentes :

a) Changement de fenêtre : du "problème des étages" au "problème des niveaux"

Cette stratégie est celle qui a été adoptée par tous les élèves pour répondre au problème d'accès à l'espace graphique, en rapport avec l'espace de l'objet. Cette stratégie part du principe sur lequel est fondée la logique du "dessin technique" : la distinction de composants ayant la même projection selon une direction orthogonale se fait à travers les projections selon les deux autres directions. Ainsi, par exemple, l'existence d'un cube au "deuxième étage" dans la configuration (fig.V.33) ne peut être révélée par la vue de dessus; elle peut être révélée par la vue de face et la vue de côté.

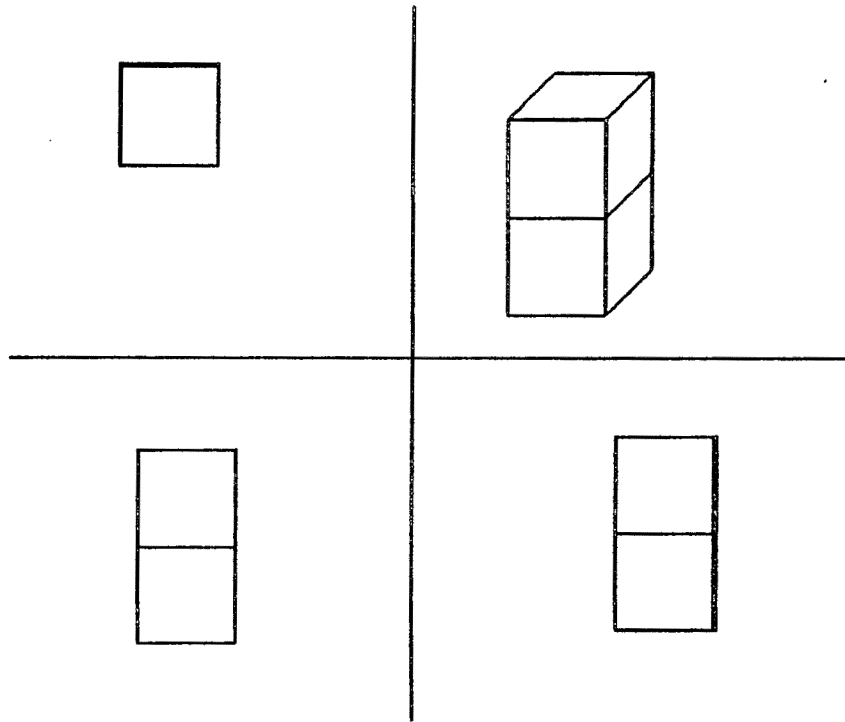


fig. V.33

Or, d'après des résultats de recherches autour de l'apprentissage de dessin technique, il a été prouvé que les apprenants se représentent davantage les vues d'un objet comme "la façade qu'on voit selon une direction d'observation", que comme des projections de l'objet. Ceci renforce la tendance à avoir recours aux deux autres vues, lorsqu'il s'agit d'un composant de l'objet dont la projection selon la troisième est confondue avec les projections d'autres composants. Dans l'exemple précédent, si la "vue de face" est considérée comme représentant "la face de l'objet", et pour accéder à la "face-arrière de l'objet", les apprenants ont plutôt recours à la vue de côté ou à la vue de dessus, où l'on peut "voir quelque chose" de cette face-arrière (les segments en trait gras dans ces deux vues).

((Olivier, Stéphane); Ass1; Etat E8)

O: problème.... on sait pas comment... maintenant, il faut en faire un dessus, on sait pas comment faire

S: attends, il faut réfléchir... (silence)... il faut prendre la vue de face, pour faire un autre par-dessus..... tu vois?... tu comprends le problème?

O: non, je vois pas

S: parce que c'est la vue....

O: ah oui, parce que là, il doit être comme ça.... on le voit comme ça... on va mettre un par-dessus.... oui..... mais comment on fait pour qu'il soit derrière?

S: ah oui, c'est vrai... parce que sinon il sera au-dessus de celui-là (il indique le cube "devant, gauche")

L'abandon aussi spontané de la procédure "Pri.", face au "problème des étages", indique et explicite un fait qui a été remarqué le long de l'utilisation de cette procédure : jamais les élèves n'avaient accordé à la boucle de sélection sa propre signification. Le choix de l'option "sélection OK" a toujours été un moyen de faire avancer le procédé.

Les deux partenaires écartent donc cette possibilité de sélectionner une face non construite par eux et non située au même niveau que celles construites; en outre, ils savent d'après leur expérience que la construction ne pourra donner lieu qu'à des facettes situées à un même niveau que la face-base de l'assemblage.

Ils choisissent donc de changer de fenêtre. Mais, comme au cours de leur activité précédente (Etat E3), ils avaient déduit qu' "*il ne faut pas travailler dans la vue de face*", ils n'appliquent effectivement cette stratégie que dans la fenêtre de la vue de côté :

((Olivier, Stéphane); Ass1; 10,a)

O: non... vue de côté

S: non, non, réfléchis... parce que là, on ne sait pas où il va être, là (il indique le côté gauche de l'objet) ou là (il indique le côté droit de l'objet)

O: je vais la mettre là (il indique, dans la fenêtre de la vue de côté, un carré virtuel, adjacent par son côté horizontal supérieur, au carré de droite de la vue de côté)... regarde, de côté, on verra ça.. oh non... comment on sait qu'il sera là (là où la face a été dessinée au sein de la fenêtre 3D), pas là (dans le plan du côté gauche de l'objet, au sein de la même fenêtre) ou là (dans le plan du côté droit de l'objet, au sein de la même fenêtre) ?

Remarquons que, dans cet extrait, Olivier pose et formule le "problème des niveaux".

L'application de cette stratégie ne fait, d'après son résultat (état E10), que contourner le "problème des étages" pour tomber sur le "problème des niveaux" :

Contrairement aux attentes des élèves, la face construite n'est située ni dans le plan du côté droit, ni dans celui du côté gauche de l'objet. La construction donne lieu à la représentation d'une face non connexe à la configuration jusque-là représentée; en effet, le premier sommet validé par les élèves dans la fenêtre de la vue de dessus possédait des coordonnées initiales non nulles ($x \neq 0$), alors que la construction dans la fenêtre de la vue de côté donne lieu à une face située au niveau de traitement nul ($x=0$). Les élèves ne possédaient pas encore les moyens pour trouver cette interprétation, mais ils déduisent que "*donc, il faut pas travailler là*".

Après adoption d'autres stratégies (analysées plus loin), Olivier et Stéphane recourent encore une fois à cette stratégie (procédure n°12), dans un essai désespéré de dessiner la face du cube du "deuxième étage". Dans cet essai, Olivier était conscient que le carré ne sera pas nécessairement là où il doit être (*derrière*, au deuxième niveau de traitement selon la structuration de l'espace par le réseau de plans de l'assemblage), Stéphane comptait sur la chance :

((Olivier, Stéphane); Ass1; 12,a)

O: ça, c'est la vue de face?

S: mais bien sûr.... bien sûr, vas-y, "fais-le"

O: mais c'est quoi le ?... je fais quoi?

S: ben, tu fais comme d'habitude, tu fais un carré 10 là, au-dessus

O: là?.... là-derrière?

S: oui.... carré 10

O: et pourquoi il sera derrière et pas devant?

S: attends, on verra.... avec un peu de chance... ben, fais-le, on verra où il sera

Cette stratégie a été réadoptée par les élèves au cours de la séance "Assemblage 2", à plusieurs reprises, et avec l'espoir qu'elle aboutisse à un résultat convenable. On peut en déduire sa stabilité chez les élèves :

((Olivier, Stéphane); Ass2; Etat E3)

S: il démarre de là !... ce qui est normal, c'est qu'il démarre de l'angle... ça c'est la vue de face,... et si je prends un point là (sommet supérieur de droite du carré de gauche), je devrais me trouver là (sommet supérieur devant du cube, dans la fenêtre 3D)....

O: c'est peut-être parce qu'on a changé de face; pourquoi on a pas continué en vue de dessus ?

Dans ce passage, transparait le problème-clé de la représentation plane d'objets spatiaux : problème de la représentation et de la perception de la 3^o dimension. Stéphane considère que la connexité des deux carrés représentant, dans la vue de face, les faces des deux cubes à représenter doit induire la connexité de leurs représentations dans la fenêtre 3D. Il s'agit là d'une règle d'action qui détourne la tâche de son sens. Cette idée sous-tend deux problèmes concernant la représentation de l'espace chez les élèves, situés à deux niveaux différents :

- * au niveau de la signification qu'ils attribuent au perçu,
- * au niveau de la relation qu'ils construisent entre les points de l'espace et leurs projections selon les différentes vues.

Nous analyserons plus profondément ce problème au cours de la situation suivante ("escaliers", chap.VI).

Essayons d'analyser la représentation que se font les élèves, jusque-là, de la structure de l'espace représenté par le logiciel, en utilisant la procédure analysée ci-dessus. Cette représentation reste liée à l'objet, privilégiant assez spontanément trois plans particuliers de ce dernier : sa face, sa base et un de ses côtés. Ce statut particulier de ces trois plans est ensuite projeté sur un mode de positionnement supposé, des différents composants, par le logiciel :

* si on dessine dans la fenêtre de la vue de dessus, on ne peut accéder qu'au plan des facettes-bases de la première couche horizontale de cubes déjà construite (ce qui explique leur abandon de la procédure "Pri." avec construction préalable de la base du cube à construire, sans même essayer de l'appliquer pour l'essai),

* si on dessine dans la fenêtre de la vue de face, on ne peut accéder qu'au plan des facettes-faces de la première couche frontale de cubes (ce qui explique les deux dernières répliques des élèves, refusant, sans même l'essayer, la construction dans la fenêtre de la vue de face car elle donnerait une facette située au même niveau que la face du cube "devant, gauche").

* si on dessine dans la fenêtre de la vue de côté, on ne peut accéder qu'au plan des facettes du côté de l'objet, dont on ne sait pas s'il sera le côté gauche ou le côté droit, qui sont spontanément équivalents; d'où la protestation de Stéphane : *"parce que là, on ne sait pas où il va être, là (il indique le côté gauche de l'objet) ou là (il indique le côté droit de l'objet) "*.

Cette représentation privilégie donc un des deux trièdres trirectangles représentés (fig.V.34), trièdres liés à l'objet et constitués par : son plan frontal "devant", son plan horizontal de base et l'un ou l'autre de ses plans de côté. Ayant déjà été privilégiés au cours d'une situation précédente (activité "arêtes cachées"), ces plans prennent au sein de cette situation un statut plus fort et plus opérationnel, par rapport à la structuration de l'espace par le logiciel; en effet :

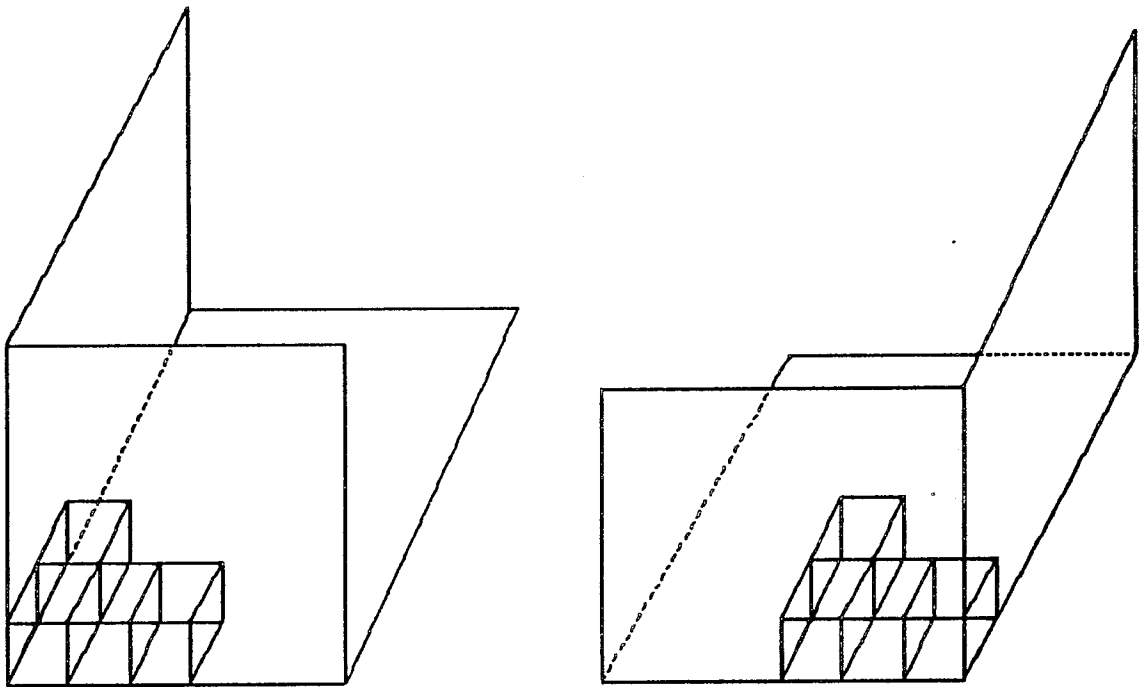


fig.V.34

* Le long de l'activité "arêtes cachées", les représentations graphiques de toutes les faces de l'objet (à tous les niveaux dans les trois directions principales de l'espace) sont données dès le début, par la donnée principale du problème : la représentation en squelette de l'objet. La tâche revenait à situer ces faces les unes par rapport aux autres, pour situer leurs représentations dans l'espace graphique. La réalisation de cette tâche est indépendante de la structure de l'espace graphique du logiciel utilisé. L'accès à tout point de l'espace de l'objet à travers sa représentation est directement possible.

 : Possibilité d'accès

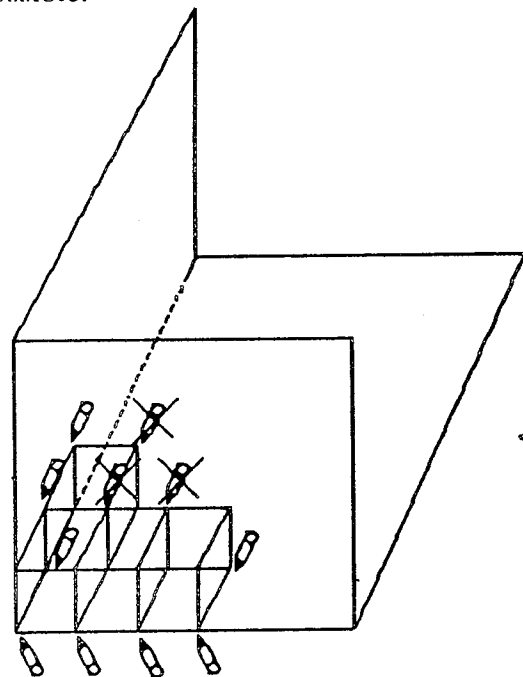
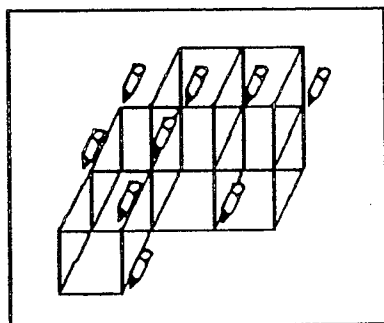


fig.35

* Au cours de l'activité présente, les représentations graphiques des faces de l'objet (ou d'emblée de familles de ces faces) doivent être réalisées par les élèves et situées les unes par rapport aux autres au fur et à mesure de l'avancement de la construction. La réalisation de cette tâche doit intégrer les règles d'accès par le logiciel aux différents composants selon les différentes fenêtres de traitement, ce qui rend nécessaire la découverte par les élèves de ces règles. Selon la représentation, ici analysée, que se font les élèves de l'espace du logiciel, et dans les limites de leurs connaissances à propos du mode de fonctionnement du logiciel, l'accès aux points particuliers de l'objet (sommets des cubes composants, qui constituent les nœuds du réseau régissant la structure de l'objet) n'est possible que si ce point est situé dans l'un des trois plans du trièdre. Cet accès ne pourra, en outre, se faire dans la fenêtre 3D, il se fera à travers les trois fenêtres de traitement.

Une telle représentation de l'espace est davantage liée à celle de la logique du dessin technique, où la représentation se fait dans trois plans de projection, et où la construction, au moins mentale, de l'objet se fait par coordination des trois vues, sans aucun accès aux composants de l'objet situés en dehors de ces trois plans. Encore plus, cette représentation se rapproche des mécanismes mentaux mis souvent en œuvre lors de la représentation d'un objet à partir de ses vues : davantage à travers la juxtaposition des trois vues qu'à travers leur coordination, comme l'ont montré des recherches sur l'apprentissage du dessin technique (Rabardel & Weill-Fassina 1984, Weill-Fassina & Rabardel 1985, Zougarrri, Weill-Fassina & Rabardel 1984).

Le dépassement d'une telle représentation vers la représentation de l'espace par le logiciel exige une certaine connaissance à propos des modes d'accès aux différents plans de l'objet au sein de ce logiciel. Les élèves ne possèdent pas encore de telles connaissances qui sont, en outre, difficiles à découvrir dans l'interface du logiciel, sans l'aide d'un manuel d'utilisation, ou d'un exposé à propos de ces règles. C'est de là qu'émane la nécessité de la séance collective dont nous parlerons plus amplement dans le paragraphe suivant (III.6)

b) Stratégies posant d'abord le "problème des niveaux" :

L'exemple de telles stratégies est donné par le déroulement de l'activité de (Eric, Richard), au cours de la séance "Assemblage 2" :

Comme nous l'avons vu dans l'analyse des algorithmes globaux de résolution du problème, ces élèves ont commencé leur construction dans la fenêtre de la vue de face. Au cours de la construction, c'est la logique du dessin technique, soutenue par Richard qui a guidé la construction, à la désapprobation hésitante d'Eric (cf. § III.3).

De par la composition de l'assemblage qu'ils ont à représenter, le "problème des niveaux" s'est alors inévitablement posé. En effet, la face de cet assemblage présente des dénivellations qu'on doit prendre en compte au cours de la construction, selon la logique du logiciel utilisé. Dans ce cas, la logique du dessin technique n'est pas adaptée. Ce problème ne serait peut-être posé si les élèves avaient adopté le même algorithme de construction "par faces de l'objet", mais en commençant par la vue de dessus, compte tenu de la particularité de la base d'un empilement.

((Eric, Richard); Ass2; Etat E4)

R: maintenant, celui de devant... celui de devant, celui de dessus

E: oui.... remarque, là c'est un problème

C'est au moment de la construction de correspondances entre les composants de l'objet et les composants du dessin que le problème de la dénivellation devient crucial. Eric s'inquiète de la position, dans la vue en perspective, du carré du milieu :

((Eric, Richard); Etat E5)

E: mais c'est dénivelé.... peut-être qu'en mettant...

R: mais ça ne se voit pas

E: oui, en vue de face, mais il faut... donc, il faut travailler en vue de dessus

En admettant que la vue de face est correcte, il insiste sur la nécessité d'explicitier d'une manière ou d'une autre le fait que ce carré (et d'autres aussi peut-être), doit être positionné à un autre niveau de profondeur. Puisque la vue de face ne peut révéler ce fait, il propose un changement de fenêtre.

c) Stratégies masquant, pour certains cas, le problème d'accès à l'espace :

L'exemple de telles stratégies est donné par (David, Rachel)... en effet, comme pour (Olivier, Stéphane), ces élèves ont répondu au "problème des étages" par le changement de fenêtre, pour exprimer l'existence d'un "deuxième étage" selon la verticale.

((David, Rachel); Etat E6)

D: pourquoi on fait pas celui de.... de dessus (le cube situé par-dessus celui déjà construit) ?

R: oui.... on va le faire d'abord.... mince!... c'est la vue de dessus, ça.... je me suis trompée, il faut pas que je prenne celle-ci ... il faut peut-être que je prenne la vue de côté

D: non, mais ça ne fait rien

R: la vue de dessus est comme ça.... oui, mais, après ? on le verra pas, l'autre cube, au-dessus

D: ou alors tu peux faire la vue de face, maintenant

R: non... si, la vue de face, c'est peut-être bon, remarque...

Suite à cette décision de changement de fenêtre (procédure n°9), le "problème des niveaux" devait normalement se poser, comme c'était le cas pour (Olivier, Stéphane) Mais, pour ce binôme, (David, Rachel), il a été masqué par le choix qu'ils font systématiquement au début de chaque construction : leur premier sommet validé est le point (0,0) de la fenêtre de traitement, ce qui correspond au point (0,0,0) de l'espace, vu que la troisième coordonnée est par défaut nulle. Nous disons que ce fait masque le "problème des niveaux" car nous pensons que les élèves, en obtenant un résultat graphique correct, ne prennent pas conscience de l'effet des coordonnées initiales qui aurait pu amener à des décalages si celles-ci n'étaient pas nulles.

Pourtant, le "problème des niveaux" a pu se poser au moment de la construction du cube situé à l'arrière de l'assemblage. Avec leur stratégie de changement de fenêtre, qu'ils ont continué à adopter après la séance collective, les élèves avaient construit la "base de construction" du prisme dans la fenêtre de la vue de côté (procédure n°17, qui a donné lieu à l'état E14).

Le niveau de traitement nul, validé par défaut dans la fenêtre de la vue de côté, est la cause de la position de la face obtenue dans la fenêtre 3D. Ce résultat graphique provient du "problème des niveaux", exigeant l'explicitation a priori du niveau de traitement non nul définissant la position de cette face.

Mais, même posé, ce problème n'a pas été envisagé par les élèves comme relevant de l'espace du logiciel; la signification qu'ils lui ont attribuée relève plutôt de l'espace relatif lié à l'objet. En effet, la position de la face obtenue s'intègre parfaitement dans cet espace, suite à la stratégie systématique de ce binôme, évoquée ci-dessus :

((David, Rachel); Ass2; Etat E14)

D: c'est comme ça?... à moins que ça soit à l'envers

R: ah ouil.... mais ils ne disent pas si c'est la vue de côté de gauche ou la.... la vue de côté de droite

D: oui, on ne sait pas

R: parce que... logiquement, sur le dessin, il est de ce côté-là.... parce que la vue de face, vue de vue de côté, nous donne ça... et la vue de dessus, elle nous donne de ce côté.... donc, ça doit être une vue de...

D: normalement, on devrait avoir quelque chose derrière celui-là (le cube de droite)...

Leur interprétation relève donc d'une raison liée à la position de la face construite par rapport aux côtés de l'objet, non à sa position par rapport à l'espace absolu régissant le logiciel.

Pour surmonter ce problème, ils ont encore procédé par changement de fenêtre : ils construisent, dans la fenêtre de la vue de dessus, la base du cube à représenter, à l'aide de la procédure n°19.

Cette dernière aboutit au résultat graphique désiré (état E16), grâce au fait que le niveau de traitement horizontal, nul par défaut, se trouve être le bon. Encore une fois, la procédure de changement de fenêtre, au cours de la construction d'un objet dont l'un des sommets est situé au point (0,0,0), finit par résoudre le problème de la représentation graphique visée, sans résoudre le problème plus général d'accès particulier à l'espace (problème des étages ou problème des niveaux).

Par un choix adéquat à ce cas de l'assemblage à construire, on peut réussir à déstabiliser cette stratégie. En effet, cette dernière aboutit à un résultat adapté tant que le cube en cours de construction possède une de ses faces dans un plan de traitement nul, selon l'une ou l'autre des trois directions principales de l'espace. En menant cette analyse, nous regrettons qu'à l'assemblage proposé à ce binôme manquait un cube qui aurait perturbé cette stratégie et posé le "problème des étages" : un cube qui soit placé au-dessus du cube "derrière, droite, en-bas".

d) autres stratégies :

dans cette dernière partie de ce paragraphe, nous indiquerons rapidement quelques-unes des stratégies utilisées par les élèves pour résoudre ou contourner le même problème, celui de l'accès particulier à l'espace, au sein de Mac Space. Nous indiquerons ces stratégies à part, car nous considérons qu'elles sont moins durables et moins significatives que celle exposées plus haut.

i) sélection de la base de construction dans une autre fenêtre de traitement

Cette stratégie est illustrée par la procédure n°7 de (David, Rachel). Voulant construire le cube situé au-dessus de celui déjà construit, en utilisant la procédure "Pri.", les élèves changent de fenêtre de traitement (c'était celle de la vue de dessus, ils passent à celle de la vue de face). Nous expliquons ce changement par deux raisons :

* dans la fenêtre de la vue de dessus, on ne peut pas distinguer les deux faces horizontales du cube déjà construit, pour donner la priorité (d'une manière ou d'une autre) à sa face dessus, qui doit servir de nouvelle base de construction; par contre, à travers la vue de face, on peut avoir accès à cette face à travers sa projection, coïncidant avec le côté horizontal supérieur du carré de la vue de face.

* pour le résultat graphique attendu par les élèves, la vue de dessus déjà existante ne subira aucune modification suite à cette procédure. Par contre, la vue de face devra être modifiée.

Naturellement, cette stratégie n'a pas abouti au résultat graphique désiré, car elle a reconstruit le même cube, vu que la face validée par la boucle de sélection était celle de face du cube déjà construit.

ii) reprise de la procédure (Pri.) sans explicitation du niveau de traitement

Une telle stratégie aboutit à un résultat analogue à celui que donne la stratégie précédente; mais les élèves l'appliquent avec d'autres intentions, et une autre représentation du fonctionnement du logiciel, résidant dans l'idée que pour une direction de traitement donnée (par exemple la direction des couches horizontales des cubes), une nouvelle construction commencera à partir du niveau de traitement le plus haut (le dessus du cube concerné) (théorème en acte : orientation implicite de l'axe vertical vers le haut). Expliquons-nous en donnant l'exemple de la procédure n°11 de Olivier, Stéphane, au cours de la séance "Assemblage 1" : confrontés au "problème des étages" après leur construction de première couche horizontale de cubes,

((Olivier, Stéphane); Ass1; Etat E8)

S: attends, il faut réfléchir avec logique.... ce qu'on veut, c'est le faire.... au-dessus de ça (il indique la représentation du cube de derrière, dans la fenêtre 3D)... (court silence) eh ben, on en refait, hein?... tu refais le même carré (il parle du carré de la vue de dessus, qui représente la base du cube de derrière), et tu remets... machin (il indique l'icône "Prisme"), et ça va faire au-dessus

La proposition consiste à répéter le même algorithme (consistant à alterner les deux procédures "Rec." et "Pri."). La première consistera donc à redessiner le carré représentant, dans la vue de dessus, le cube "derrière, en-bas", en supposant que la face résultante sera construite sur le dessus de ce cube.

((Olivier, Stéphane); Ass1; Etat E10)

O: eh !... il l'a pas dessiné

S: il l'a fait par-dessus.... il l'a recommencé... il a refait le même

O: on essaye sur cette face? (il indique la fenêtre de la vue de face)

S: attends; il faut lui dire qu'on travaille dans la 2° dimension

Cette dernière réflexion de Stéphane est significative au niveau du problème d'accès à l'espace de Mac Space, incarné ici par le problème de l'accès à différents niveaux de hauteur dans une fenêtre où la direction verticale n'est pas représentée : la fenêtre de la vue de dessus.

iii) fenêtre de la vue 3D

C'est la tendance constante chez les élèves à essayer de travailler dans la fenêtre 3D, surtout lorsque les autres stratégies (relevant des cadres différentes : Mac Paint, Mac Space, dessin technique) aboutissent à une impasse. Bien sûr, cette stratégie se heurtait toujours à la contrainte du logiciel, empêchant tout traitement dans cette fenêtre.

D'après leur expérience, les élèves touchent à la difficulté de Mac Space, résidant dans le concours de deux contraintes : l'impossibilité (ou la méconnaissance de moyen) d'accéder aux différents niveaux ou étages, et l'impossibilité de traiter le dessin en perspective.

O: mais nous, on veut se mettre là (il indique le deuxième étage)... comment on peut faire ?

S: je ne sais pas... il faut peut-être pas travailler sur les faces.... il faut peut-être travailler là (fenêtre 3D)... oh non, mais là on peut pas... c'est ça la difficulté, ça se trouve, de Mac Space....

iv) contrôle uniquement par la vue 3D
((Olivier, Stéphane); Ass1; Etat E11)

O: regarde où il est là

S: ah ben, il est loin.. il est entre trop... trop bas peut-être

O: attends.... on essaye à chaque fois, d'accord?... regarde ce qu'on va faire.... un peu plus loin,...

S: ah oui, oui, jusqu'à ce qu'on tombe pile.... vas-y

Nous développerons l'analyse de cette dernière stratégie plus loin, dans le § III.7.

III.6. Evolution de la représentation du logiciel en tant qu'outil :

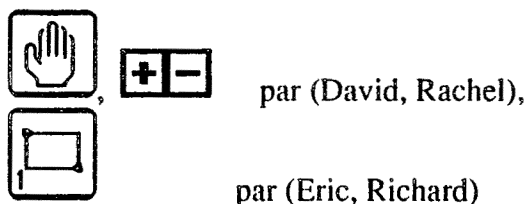
La tâche présente intervient à un moment où les stratégies des élèves convergeaient, suite à leur connaissance jusque-là acquise du mode de fonctionnement du logiciel, vers l'utilisation d'un nombre assez restreint de procédures (surtout "Rec." et "Pri.") et de commandes (surtout "copier", "coller", "annuler", "annuler dernière facette", et les commandes de gestion de fichiers : "enregistrer", "fermer", "ouvrir",.....)

La tâche a favorisé cette convergence et participé à instaurer une certaine systématisation de l'activité autour de ces procédures et commandes principales, voire même autour d'un sous-ensemble de ces procédures (les commandes "copier", "coller" se sont avérées non adaptées).

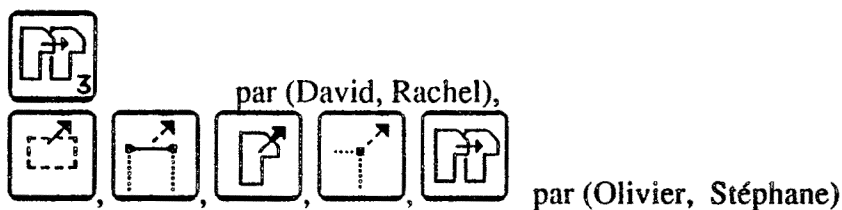
Le recours à l'utilisation d'autres fonctions du logiciel n'intervenait qu'au cours d'essais visant à surmonter des problèmes pour lesquels les procédures principales ne pouvaient donner de solution adéquate, au moins dans les limites de la connaissance qu'ont les élèves de leur mode d'utilisation.

Dans l'analyse des algorithmes généraux de résolution du problème, nous avons pu repérer et justifier certains de ces moments de recherche par les élèves en dehors du cercle des procédures principales; donnons des exemples, non nécessairement exhaustifs :

* au cours de la séance "Assemblage 1", utilisation de :



* au cours de la séance "Assemblage 2", utilisation de :



Dans cette partie, nous ne nous occuperons plus de cet aspect, pour nous permettre de concentrer l'analyse autour de l'évolution de la représentation des élèves du mode de fonctionnement de la procédure "Pri.", essentiellement dans la relation de celle-ci avec la représentation de l'espace par le logiciel.

Dans le paragraphe précédent, nous avons étudié les mécanismes de dépassement ou de contournement du problème d'accès à l'espace particulier du logiciel utilisé. Nous avons dressé, d'autre part, un schéma illustrant :

- * les stratégies qui essaient de résoudre ce problème mais qui ne font que le transformer en un autre pour lequel les élèves n'ont pas non plus les moyens de résolution (du "problème des étages" au "problème des niveaux");
- * les stratégies qui essaient d'adapter des méthodes ou pratiques visant à contourner le problème, mais qui se heurtent aux contraintes du dispositif (pratiques "papier-crayon", construction selon un ordre particulier,...).

Pour l'analyse suivante, nous nous baserons sur les productions des élèves après la phase collective, pour étudier l'influence de cette intervention du maître sur leurs stratégies et leur représentation de l'espace représenté par le logiciel. Nous nous intéresserons en particulier à la signification que les élèves ont pu attribuer à ces informations en fonction de l'état courant du problème traité au moment de l'intervention du maître; dans cette analyse, nous étudierons les mécanismes de transformation par les élèves de ces informations, pour

passer de la logique de fonctionnement régissant l'exposé du maître à la logique d'utilisation de ces informations pour la résolution du problème posé.

(David, Rachel)

Situons l'intervention du maître par rapport à l'activité de ce binôme. Elle a eu lieu au moment où le problème de construire un cube par-dessus un autre déjà construit s'était posé. Il a été résolu, comme pour tous les autres binômes, par un changement de fenêtre (au niveau de la procédure 9). Particulièrement dans le cas de ce binôme, cette stratégie n'a pas abouti à poser le "problème des niveaux" (état E7) :

En fait, depuis leurs premières constructions impliquant des données numériques, les deux élèves ont adopté la contrainte (devenue une habitude) de commencer leur construction par la validation du point (0,0) dans la fenêtre de traitement courante; ce fait entraîne la validation du point (0,0,0) de l'espace, vu que la 3^o coordonnée est par défaut nulle. Donc, tant que le traitement se déroule dans le plan directeur de l'une des fenêtres (de niveau nul), la coïncidence de points dans la fenêtre entraîne la coïncidence des points correspondants dans l'espace.

Par contre, cette stratégie les a confrontés à un autre problème qui les incités à l'annulation des effets de la procédure n°10 : c'est le problème de l'appellation "Hauteur" utilisée par le logiciel pour désigner la dimension de la surface prismatique, indépendamment de la fenêtre de traitement. Cette appellation n'est pas acceptée par les élèves car il s'agit de la dimension d'une surface prismatique de "base de construction" frontale, donc d'une mesure selon la direction horizontale normale; d'où l'annulation.

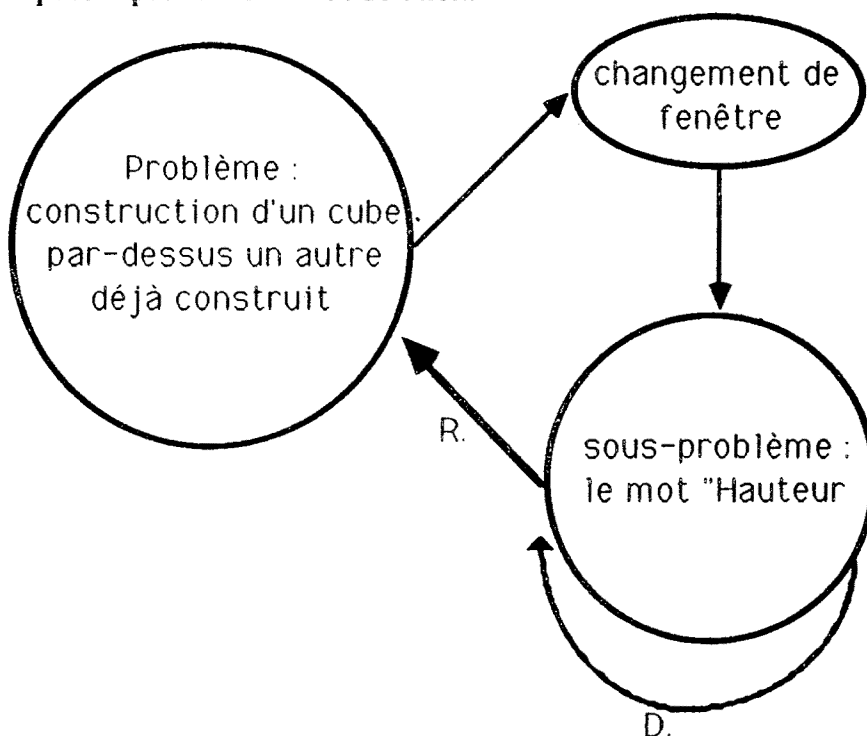
Donc, au moment de l'intervention du maître, le problème d'accès à une face particulière située à un niveau de traitement particulier ne s'était pas présenté aux élèves sous son aspect "problème des étages". Pourtant, d'après la séquence de dialogue suivante, Rachel a pu repérer dans les informations présentées par le maître un moyen de solution. En effet, pour elle, la stratégie qu'elle avait commencé à mettre en œuvre (changement de fenêtre) ne pouvait pas résoudre le problème, à cause du problème lexical (Hauteur). Le problème de l'accès restait posé.

L'activité ostensive que les élèves ont pu mener au cours de la phase collective a pris donc, pour Rachel, le sens de présentation d'un moyen pour la construction d'un cube par-dessus un autre, déjà construit.

Il n'en a pas été de même pour David Il semble que la stratégie de "changement de fenêtre" est tellement stable pour lui qu'elle a masqué l'intérêt d'un tel moyen, aussi peu spontané que de sélectionner une face parmi plusieurs, ayant la même projection.

Par le schéma suivant, nous essayons de situer le raisonnement de chacun des deux partenaires par rapport au problème posé, au moment de l'intervention collective : confrontée au sous-problème "Hauteur", Rachel avait remis en question la stratégie qu'ils avaient adoptée, le changement de fenêtre y compris. Son raisonnement se re-situe donc au niveau du problème entier de trouver un moyen pour construire un cube par-dessus un autre existant. Le mode de fonctionnement exposé au cours de la phase collective, présentant des relations étroites avec ce problème, a donc pu être exploité et transformé en un mode d'utilisation des possibilités de sélection d'une face.

Par contre, le raisonnement de David reste situé au niveau du sous-problème, sans faire le recul nécessaire pour remettre en question le changement de fenêtre, trop stable car il représente le seul moyen de pouvoir "voir" le résultat d'une éventuelle construction. Ainsi, au cours de la phase collective, David n'envisageait pas un problème pour lequel les informations exposées peuvent servir de solution.



Après la phase collective, et au moment de la construction du cube "gauche, dessus", David propose alors un changement de fenêtre, Rachel n'est pas d'accord :

((David, Rachel); Etat E9)

R: pourquoi tu veux prendre la vue de face ? je ne comprends pas

D: parce que.... là, ça ne marchera pas... parce que, là (dans la fenêtre de la vue de dessus), on ne voit qu'un (un carré représentant les deux cubes), et là (fenêtre de la vue de face), on voit deux

R: oui, mais tout à l'heure (pendant la phase collective) on a fait la même chose, tu te souviens pas?

D: oui, mais justement....

R: c'était avec la vue de face ?... non, c'était avec la vue de dessus

D: parce que si on prend comme ça, on ne peut pas dessiner celui-là.... on en verra qu'un (il veut dire qu'en vue de dessus, de toute manière, on ne verra qu'un carré comme représentation des deux cubes superposés)

R: oui, mais tu tapes carrément sur l'icône, et puis tu demandes une... une face...tu te souviens pas ? (elle fait référence à l'activité ostensive)

D: mais sur la vue de face, on verrait les deux

R: mais.... tout à l'heure, on l'a pas fait comme ça... on a fait avec... euh.... on a cliqué là-dessus... (court silence) bon, on va le faire en vue de face; de toute manière, on a la même hauteur partout....

Au cours de ce débat autour de la fenêtre à sélectionner, Rachel se base sur les informations et l'activité ostensive de la phase collective. David se base sur la nécessité de changer de fenêtre. Le débat se termine par la résignation de Rachel face à l'obstination de David; par cet accord, le raisonnement de Rachel se re-situe au niveau du sous-problème langagier "Hauteur", après avoir accepté le changement de fenêtre. Sa dernière réplique explicite sa façon d'envisager ce sous-problème; elle le dépasse en remarquant que, pour toutes les directions principales de l'espace, on n'a qu'une seule valeur numérique représentant les dimensions (10); on peut donc utiliser la valeur de la hauteur du cube à construire, pour introduire la mesure de son côté normal.

(Eric, Richard)

Dès le début, le problème d'accès à l'espace s'est posé à ces deux élèves sous son aspect "problème des niveaux", car ils ont adopté la fenêtre de la vue de face : la façade frontale de l'assemblage présente des dénivellations que ne présente pas, par exemple, sa base (si les élèves avaient adopté la fenêtre de la vue de dessus, c'est le "problème des étages" qui se serait plutôt posé).

La phase collective est intervenue au niveau de la procédure n°11, par laquelle les élèves avaient achevé la construction d'un ensemble de cubes (état E10), ayant pour "bases de construction" les carrés composant, dans la fenêtre de la vue de face, la projection de l'objet (état E5). La construction adopte donc un algorithme de solution se basant, en un premier temps, sur la logique du dessin technique, et se référant, en un deuxième temps, au cadre des possibilités de construction globale de Mac Space.

Aux deux moments correspondants de l'activité, les deux résultats graphiques "Etat E5" et "Etat E10" ont suscité un débat révélant un différend entre les deux élèves, autour de la validité de ces résultats. Les arguments donnés par Eric établissent des correspondances entre l'espace de l'objet et l'espace graphique, ceux donnés par Richard font référence au dessin technique. Au niveau de l'état E5, ce sont les arguments de Richard qui ont orienté les constructions suivantes. Le différend s'accroît au niveau de l'état E10 :

((Eric, Richard); Ass2; Etat E10)

E: eh, on s'est planté

R: non

E: si; il y a une barre qui ne devrait pas être (il parle de la barre de trois cubes de la vue 3D, qu'il situe mentalement au niveau de la première couche frontale de cubes de l'assemblage)

R: si, pourquoi?

E: celle-là, elle ne devrait pas être là... on n'a aucun cube au milieu

R: si, c'est la face de celui-là (du cube de milieu de la barre de derrière de l'assemblage)

E: eh ben, justement, on s'est planté.... regarde, on a 2 cubes là (il indique sur l'objet la pile de deux cubes de la première couche frontale).. c'est lesquels? c'est ceux-là (il indique leurs représentations sur la vue 3D)... et celui-là est directement derrière (le cube "droite, derrière, en-bas"), et l'autre est à côté (le cube de milieu de la barre de trois cubes); il devrait être là, normalement, sur le dessin... il devrait être derrière; regarde ce que ça fait là... c'est pas logique, ce machin

R: ah oui, c'est pas bon.... il fallait peut-être faire d'abord celui-là (le cube "droite, derrière, en-bas)... puis celui de dessous (le cube "droite, devant, en-bas), et après celui de dessus (le cube "droite, devant, en-haut)

Le "problème des niveaux" s'est donc posé pour les faces frontales des cubes composants (Etat E5), mais il s'est encore posé pour les couches de cubes (Etat E10). L'intervention du maître a eu lieu au moment où la stratégie jusque-là suivie a été remise en question : globalement par Eric, partiellement par Richard qui garde le principe de cette stratégie (construction dans la fenêtre de la vue de face, utilisation de "Pri.") mais remet en

question l'ordre dans lequel la construction des surfaces prismatiques a été effectuée; sa représentation de la solution n'explique pas de méthode pour réaliser la construction dans l'ordre qu'il propose; il suppose peut-être qu'après la construction du cube "droite, derrière, en-bas", l'ordinateur continuerait là où la construction se terminera, donc au niveau de la face de ce cube, qui servirait de "base de construction" au cube suivant (celui qui est juste devant lui). Si cette proposition avait été mise en œuvre, elle aurait posé le "problème des étages".

C'est à ce moment de remise en question de la construction et globalement de retour à zéro qu'intervient la phase collective.

L'algorithme ensuite adopté révèle que les élèves ont trouvé dans les informations exposées une méthode capable de résoudre le problème d'accès. En un premier temps, leur interprétation du message du maître semble être la suivante :

Ayant déjà construit la représentation d'un cube, on peut construire un cube quelconque qui lui est connexe, donc qui utilisera une de ses faces comme "base de construction". Il suffit de choisir cette face au cours de la boucle de sélection.

Donc, en un premier temps, leur algorithme de solution semble refuser de construire de nouvelles facettes, une fois que le premier cube est représenté. Un tel algorithme s'appuie sur le fait qu'un cube quelconque de l'assemblage présente au moins une face commune avec un autre. Cet algorithme exploite donc à l'extrême les nouvelles informations recueillies dans l'exposé de la logique de fonctionnement de la boucle de sélection, avec des changements de fenêtre prévus, pour se situer perpendiculairement à la face servant de base de construction..

Cet algorithme a été abandonné suite à une erreur de sélection relevant de la difficulté ergonomique de repérer les pointillés. Dans leur procédure, les élèves voulaient construire le cube situé derrière le cube inférieur droit, en sélectionnant la face de derrière de celui-ci. La sortie de la boucle a eu lieu à un moment où la face du côté droit de ce cube était sélectionnée.

((Eric, Richard); Etat E14)

E: on a un problème... il veut pas le faire là

R: il faut changer de face, je pense

E: c'est lequel qu'on lui a dit là ? le pointillé ? c'était pas le fond de celui-là ? (il parle du cube d'en-bas)

R: mais on les a essayés tous... il faut changer de face, je te dis

E: on prend quoi ? la vue de dess.... mais non, sur quoi tu vas le faire, ton cube ? il y a rien là, en vue de dessus.... ni en vue de côté d'ailleurs...

Cette dernière réplique de Eric confirme l'analyse précédente à propos de l'algorithme avec lequel ils avaient repris après la phase collective.

L'interprétation suivante par Richard du résultat graphique obtenu révèle une prise de conscience d'un aspect du fonctionnement de la procédure "Pri" : la direction de construction de la surface prismatique par rapport à la fenêtre de traitement :

((Eric, Richard); Etat E14)

R: mais on le fait, on fait la base... là, il va comme ça parce que c'est la vue de face... si on veut qu'il monte comme ça, il faudra prendre la vue de dessus

E: bon... donc, il faut changer de face

C'est à la suggestion de Richard qu'ils ont changé d'algorithme en construisant, en vue de dessus, la base de chaque cube à construire (sauf pour les cubes du second étage, dont la base était prête)

(Olivier, Stéphane)

Pour ce binôme, la phase collective est intervenue au niveau de la procédure n°14. Jusque-là, les élèves s'étaient plusieurs fois confrontés au "problème des étages", qui a été approfondi, contourné par différents moyens et algorithmes aboutissant à d'autres problèmes (cf. § III.3). Finalement, ce problème s'est stabilisé comme le problème qui bloque le travail, à tel point que la recherche est devenue aléatoire, basée sur l'essai-erreur.

On peut, dans une telle situation, parler de "fixité fonctionnelle". Le problème global de construction de l'assemblage est arrivé à un point où les élèves n'espéraient plus pouvoir le transformer en un autre problème résoluble avec le registre de connaissances jusque-là acquises.

Le raisonnement des élèves s'est donc fixé un objectif de trouver un moyen d'accéder au deuxième niveau horizontal de traitement, pour pouvoir appliquer la procédure "Pri." (donc continuer selon le même algorithme qui, jusque-là a donné un résultat adapté), tout en ayant la possibilité d'explicitier à la machine le fait que la construction doit s'effectuer à la base des faces de dessus de cubes déjà existants.

Ainsi, les informations présentées au cours de la phase collective ont été directement perçues comme amenant une solution à ce problème qui bloquait la construction.

III.7. Moyens de contrôle :

Dans ce paragraphe, nous étudierons les moyens de contrôle adoptés par les élèves au cours de leur activité. Il s'agit des connaissances et informations mises en œuvre par les élèves au cours d'une construction. Ce faisant, nous essayerons de repérer les liens existants (dans les deux sens) entre les procédures et leur évolution d'une part, et les moyens de contrôle mis en œuvre par les élèves d'autre part.

III.7.1. contrôle des dimensions des composants :

a) contrôle par les valeurs des coordonnées : A ce niveau de la séquence de travail avec Mac Space, les élèves ont construit une relation entre les dimensions de la facette en cours de construction et les valeurs des coordonnées-mesures qui sont modifiées dynamiquement dans la fenêtre de communication. Cette relation a surtout été élaborée au sein de la fenêtre de la vue de dessus, où les coordonnées sont désignées par x et y, ce qui mobilise des connaissances antérieures relevant du repérage plan.

Au cours de la construction d'une face, les dimensions ont donc souvent été contrôlées par ces coordonnées. Pourtant, à des moments de confrontation à de nouvelles situations, le contrôle par la perception redevient le seul moyen, jusqu'à la construction de la signification des nouveaux éléments. Eric et Stéphane illustrent ce retour au contrôle par la perception, à travers leur procédure n°1 de la séance "Assemblage1" :

((Eric, Serge); Ass1; 1,e)

E: 10 et 0 (il veut parler des valeurs affichées de x et de z)

S: comment t'avais fait pour.... (veut-il dire pour régler les dimensions ?)

E: non, parce que c'est la vue de face, ça; c'est pour ça qu'il y a zéro

S: voilà.... x 10.... c'est carré ça ?

E: oui, c'est bon... je pense, hein ?.... (court silence) z, c'est quoi?

S: je ne sais pas....

E: on a peut-être pas dû commencer par la vue de face

S: on aurait dû faire... vue de dess...

Ainsi, en adoptant la fenêtre de la vue de face comme fenêtre de traitement, et avant de construire la signification de la coordonnée z , Eric et Serge. essayaient de contrôler les dimensions du carré représentant la face d'un cube. D'après l'activité "Pavé" qu'ils avaient réalisée au sein de la fenêtre de la vue de dessus, ils avaient établi que x et y désignaient les mesures : x la longueur (mesure du côté horizontal frontal), et y la largeur (mesure du côté vertical).

Lors de la situation présente, " x " prend des valeurs variables avec le déplacement du curseur mais " y " reste constant : égal à zéro. Les élèves contrôlent alors la valeur de x (jusqu'à $x=10$) et remplacent le contrôle avec " y " par un contrôle perceptif de la forme carrée. Ce moyen n'étant pas sûr, la question sur la signification de z s'est posée, mais les élèves ont trouvé plus sûr et moins coûteux de réaliser la construction dans la fenêtre de la vue de dessus. C'était leur façon de rétablir le moyen de contrôle utilisé auparavant : contrôle par les valeurs de x et de y .

((Eric, Serge); Ass1; 2,b)

E: il faut que x et y soient égaux ... oui, c'est ça... il faut que le x et le y soient égaux.... 10

S: oui, oui

E: non, essaye d'approcher un carré à vue d'oeil, et après tu fais avec les chiffres.

b) Contrôle par des propriétés projectives : Dès qu'un carré est construit dans l'une des fenêtres, et d'après les propriétés géométriques des objets concernés, un autre moyen de contrôle peut être utilisé pour faciliter l'action de régler les dimensions : les alignements d'arêtes, et la superposition des arêtes communes à deux faces connexes ou, plus généralement, des arêtes communes aux projections de deux faces. Un tel contrôle a été maintes fois explicité par les élèves : "*mets-toi à l'angle là, et va jusqu'à l'angle, là*". Dans un tel contrôle, la perception joue un rôle important.

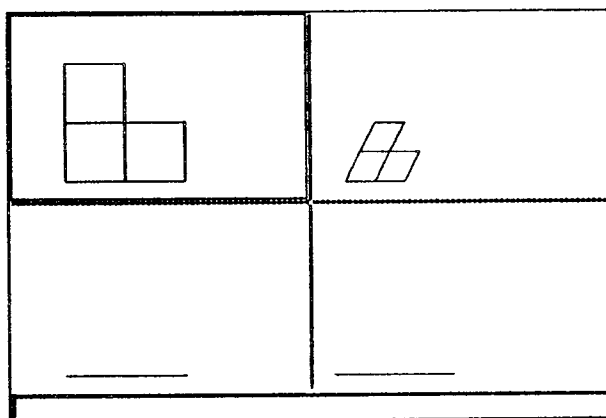


fig.V.36

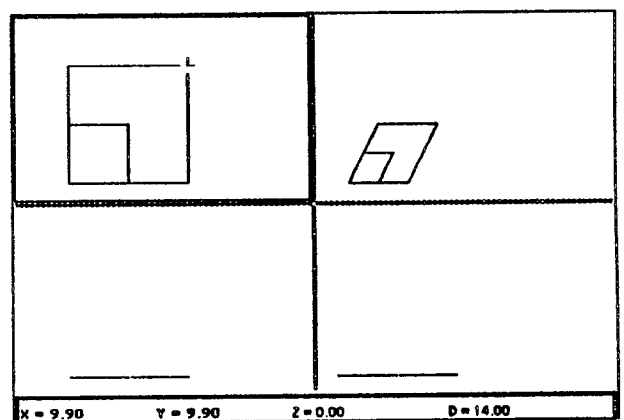


fig.V.37

Prenons, par exemple, le cas du dessin initial représenté par fig.V.36. Pour compléter la forme carrée avec un carré-unité, il suffit de positionner la croix du curseur au sommet commun aux trois carrés (ce qui détermine aussi la position, mais nous nous intéresserons à la position plus loin), et déplacer le curseur jusqu'à ce que les arêtes du carré courant soient alignées avec celles des deux carrés adjacents. Au cours de l'opération de déplacement du curseur, les arêtes du carré courant communs avec celles des carrés adjacents disparaissent jusqu'à la validation du deuxième sommet, ce qui facilite le contrôle (fig.V.37). La validation du point donnera lieu à l'état de l'écran suivant (fig.V.38) :

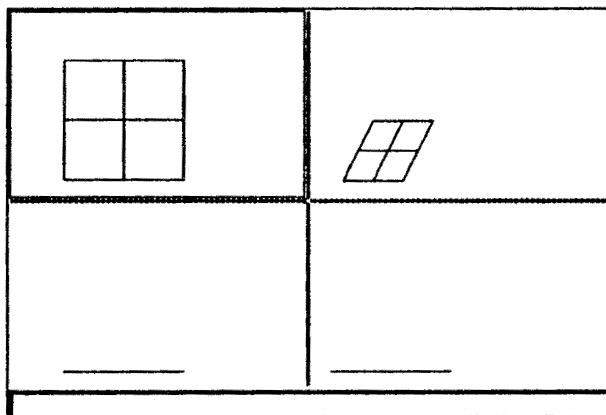


fig.V.38

III.7.2. contrôle des positions des composants :

a) Contrôle par les coordonnées : La nature des objets concernés par cette situation a défavorisé un tel contrôle, en présentant d'autres qui sont moins coûteux et plus explicites. En effet :

* ces objets sont riches en propriétés géométriques qui permettent dans beaucoup de cas le contrôle par des propriétés topologiques ou projectives : voisinage, connexité, alignement, coïncidence,

* ces propriétés géométriques, conjuguées avec le mode de fonctionnement du logiciel, offrent un moyen moins coûteux que de construire la "base de construction" des cubes à représenter (ce qui nécessiterait de la situer par rapport au système de référence absolu du logiciel) : ce moyen est de désigner, à partir du moment où elle existe, une face qui pourrait jouer le rôle de base de construction. Le problème de la position revient donc à la reconnaissance de la position de cette face par rapport aux autres composants de l'objet. Ce dernier moyen de contrôle a d'ailleurs été favorisé par la séance collective autour du fonctionnement de la boucle de sélection.

Ces deux raisons rendent suffisant un contrôle des positions des composants les uns par rapport aux autres, ou par rapport à un système de référence lié à l'objet. La résolution du problème peut se passer du contrôle des positions par rapport au système de référence absolu de l'espace du logiciel.

Au cours de l'activité des élèves, nous n'avons noté qu'un seul cas pour lequel les valeurs des coordonnées absolues ont été utilisées pour contraindre la position de la représentation graphique : c'est le cas de David et Rachel qui commençaient toute construction par la validation du point (0,0) comme premier sommet. Nous pensons, d'ailleurs, que leur choix constant du point "origine de la fenêtre de traitement" comme point de départ relève moins de l'intention de contrôler les positions des composants que d'une habitude rassurante résultant du déroulement de leur première résolution d'un problème avec le logiciel (cf. § II du chap.IV).

Par contre, confrontés plus d'une fois au "problème des niveaux", les propos à l'intérieur du binôme (Olivier, Stéphane) expriment une prise de conscience, par au moins l'un des deux partenaires, de la nécessité de "*régler des coordonnées*".

((Olivier, Stéphane); Ass2; Etat E11)

S: on n'arrive jamais quand c'est dessus, parce que.... à chaque fois qu'on construit un cube, il atterrit n'importe comment; il va falloir d'abord désigner des coordonnées pour dire d'où on part

O: mais.... on peut pas travailler sur la vue en perspective ? j'aimerais bien travailler sur cette vue là [...]... quand on travaillait là-dessus (sur la fenêtre de la vue de dessus), ça marchait... mais pourquoi là il le met n'importe où ?

S: il le met n'importe où.... il doit y avoir quelque chose à régler, je pense... et le point qui.... il le prend peut-être au hasard, le point qu'on clique... il doit y avoir une raison de le mettre par là... on doit trouver une façon pour qu'il le mette au bon endroit.... en travaillant peut-être sur les autres vues

L'analyse que fait Stéphane montre bien qu'il interprète le problème des décalages comme étant un problème lié aux coordonnées; ce faisant, il le transforme en un problème d'interaction avec la machine, revenant à trouver le moyen de lui "*dire d'où on part*". Donc, au niveau des intentions des élèves de leur analyse du "problème des niveaux", un contrôle par les coordonnées (si on savait le mettre en œuvre) aurait été adapté.

b) Contrôle par des propriétés projectives :

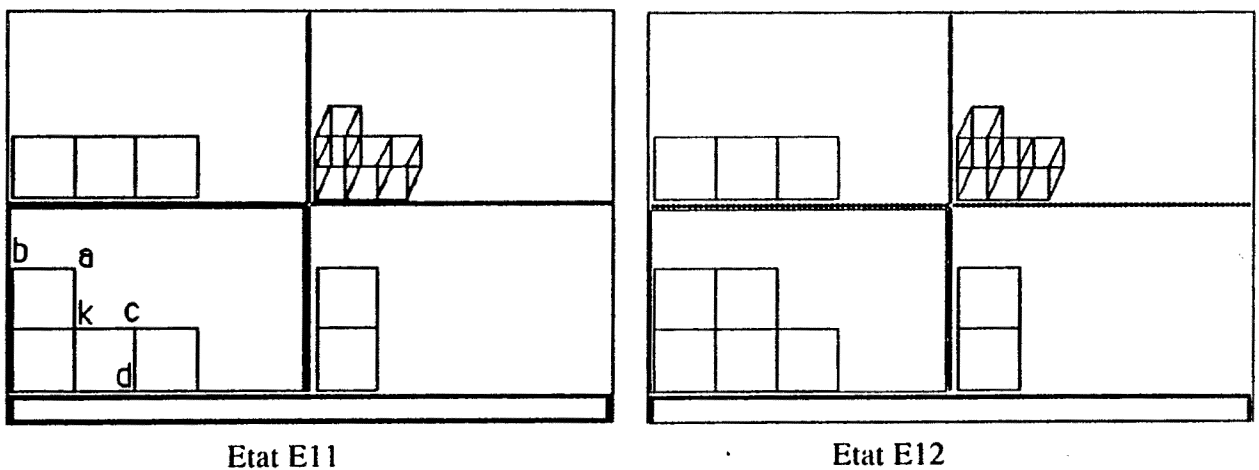
Comme pour les dimensions, les positions des composants en cours de construction peuvent aussi être contrôlées par des propriétés non euclidiennes, résultant de la nature des objets concernés. Dans ce cas aussi, la perception joue un rôle important.

Ce sont surtout les relations au sein des fenêtres de traitement qui ont été exploitées au cours de la construction, vue l'impossibilité de construction dans la fenêtre 3D.

Pourtant, ceci n'a pas empêché des élèves de contrôler leur construction par des relations projectives au sein de la fenêtre 3D. Donnons des exemples illustrant les deux cas :

- Dans les fenêtres de traitement, et de par les propriétés de l'objet, la position du représentant d'un composant peut être contrôlée par rapport à celles des représentants déjà construits. Ce contrôle a été fréquemment utilisé par les élèves : "*mets-toi à l'angle, là... dessine un carré juste à côté de celui-là,....*".

C'est un contrôle analogue qui a été, par exemple, utilisé par (David, Rachel) pour passer de l'état E11 à l'état E12 :



Pour construire la face du cube situé par-dessus le cube du milieu, ils ont validé le premier sommet au point k, puis déplacé le curseur jusqu'à l'alignement des côtés du carré courant avec ab et cd.

Dans une même fenêtre de traitement, le contrôle perceptif basé sur des relations projectives est adapté aux cas de faces connexes situées dans un même plan. Il ne l'est pas si les faces sont situées dans deux plans parallèles de niveaux différents (dans les limites

des connaissances jusque-là acquises par les élèves). C'est le cas, par exemple, des problèmes rencontrés par (Eric, Richard) qui ont réalisé leur construction dans la fenêtre de la vue de face, sans pouvoir exprimer les dénivellations (procédures n°1 à n°5). C'est de même le cas de (Olivier, Stéphane) qui, pour construire une face coïncidant avec le dessus d'un cube déjà représenté, redessinent dans la fenêtre de la vue de dessus le carré représentant ce cube :

((Olivier, Stéphane); Ass1; Etat E8)

S: ... attends, il faut réfléchir avec logique: ce qu'on veut, c'est le faire.... au-dessus de ça... (court silence) eh ben, on en refait, hein?... tu refais le même carré,

Quant à la construction dans deux fenêtres de traitement différentes, le contrôle par des relations de coïncidence ou de connexité a encore moins de chance d'aboutir à des positions correctes des composants, surtout dans le cas où les coordonnées du premier sommet validé ne sont pas nulles; ceci, à cause du "problème des niveaux", donc, de la structuration particulière de l'espace du logiciel. Ce problème sanctionnera les confusions entre "projections" et "vues" des composants de l'objet :

((Olivier, Stéphane); Ass2; Etat E3)

S: il démarre de là ! (il indique la position du carré dans la fenêtre 3D)... ce qui est normal, c'est qu'il démarre de l'angle (coin de la face du cube)... ça c'est la vue de face,... et si je prends un point là (coin droit du carré de gauche de la vue de face), je devrais me trouver là (coin correspondant de la face frontale du cube)....

C'est ce raisonnement qui a souvent abouti au "problème des niveaux" : les relations entre les composants dans différentes fenêtres de traitement induisent, chez les élèves des relations analogues entre leurs correspondants dans la fenêtre de la représentation en perspective; raisonnement qui ne prend pas en compte la non-bijectivité de la projection et la structuration par niveaux de l'espace du logiciel.

- Dans la fenêtre de la représentation en perspective, le contrôle ne peut être que perceptif. En effet, tout traitement est impossible dans cette fenêtre. Ce contrôle perceptif est basé sur la correspondance entre : d'une part la position de l'élément de dessin en cours de construction, et d'autre part sa position attendue par les élèves par rapport à l'ensemble des composants de la représentation graphique. Reprenons l'exemple de David et Rachel, au même moment de passage de l'Etat E11 à l'état E12 :

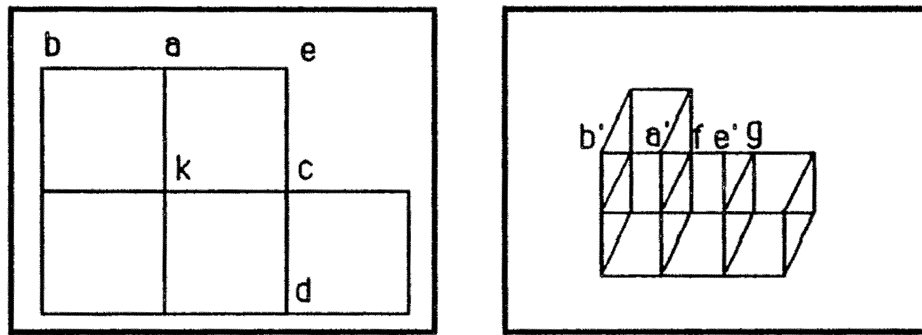


fig.V.39

Le résultat graphique dans la fenêtre 3D présente une ambiguïté perceptive concernant la position de la nouvelle face (fig.V.39) : l'alignement de b'e' et de fg. Cette ambiguïté n'a pas posé de problème aux élèves pour estimer la validité de leur résultat graphique; en effet, elle est compensée par :

- * le fait que la position de la nouvelle face est compatible avec l'attente des élèves
- * le suivi progressif de la construction du carré dans la fenêtre de traitement, accompagné par la construction correspondante dans la fenêtre 3D,
- * l'alignement de (ba) et (ae) dans le dessin de la fenêtre de la vue de face, traduit par l'alignement de (b'a') et (a'e') dans celui de la fenêtre 3D. cet alignement compense l'effet de l'alignement de (a'e') et (fg) en situant plutôt la nouvelle face dans le plan de la face d'arête (b'a'), donc au premier plan de traitement frontal.

Jusque-là, David et Rachel avaient contrôlé perceptivement leur construction, en se basant sur des relations projectives, implicites ou explicites. Nous dirons que le contrôle perceptif des constructions dans les fenêtres de traitement est un contrôle actif (car accompagné de l'action) et que celui de la construction résultante dans la fenêtre 3D est un contrôle passif, servant plutôt à la validation de la construction par rapport à un modèle attendu du dessin à obtenir. Au moment de la prise de décision pour la construction du cube "droite, derrière, en-bas" :

((David, Rachel); Ass2; Etat E13)

D: c'est comme ça? (il dessine avec le doigt les frontières d'un carré situé à droite du carré "en-bas" de la vue de côté) ... à moins que ça soit à l'envers (il indique le côté gauche de la pile colonne de deux carrés de la même vue)

R: ah oui!... mais ils ne disent pas si c'est la vue de côté de gauche ou la... la vue de côté de droite

D: oui, on ne sait pas

R: parce que... logiquement, sur le dessin, il est de ce côté-là (du côté droit)... donc, ça doit être une vue de... essayons de toute manière

((David, Rachel); Ass1; Etat E14)

D: normalement, on devrait avoir quelque chose derrière celui-là (le cube de droite)... en plus, comment ça se fait qu'on a ce trait dans la vue de dessus ?

R: attends... on a fait la vue.... il est apparu quand on a fait ce dessin-là... ce carré.... sur la vue de côté... mais pourquoi il est là-bas, le carré (elle indique la nouvelle face dans la vue en 3D) ?

D: faisons le cube, on va voir ce que ça donne

Encore dans ce cas, le haut degré d'ambiguïté perceptive est compensé par l'attente des élèves, et par leur conviction que leur action donnerait lieu à une des deux possibilités de positionnement de la face construite dans la fenêtre de la vue de côté.

D: ah non... il n'est pas du bon côté, le cube.... ça s'est pas mis du bon côté

R: mais même, on arrive à peine à le voir... mais c'est ce qu'on disait par rapport à la vue.... tout à l'heure.... on sait pas laquelle c'est, la vue de droite ou la vue de gauche

Enfin, bien que les contraintes imposées par le logiciel restreignent à la perception passive la possibilité de contrôle par la fenêtre 3D, une des procédures d'élèves pour contourner le "problème des niveaux" plusieurs fois affronté a été d'abandonner le contrôle perceptif par des relations projectives dans les fenêtres de traitement pour contrôler leur construction par des relations du même type dans celle de la vue en 3D. Un tel raisonnement marque un retour à l'aspect figuratif des dessins; il trouve sa justification dans une sorte de contrat établi lors de la dévolution du problème : les élèves interprètent la tâche comme ayant pour but principal l'obtention dans la fenêtre de la perspective d'un dessin qui peut être "lu" comme la représentation graphique de l'objet en question; ainsi, ils abandonnent le contrôle par les vues, voire acceptent que ces dessins ne soient pas des représentations correctes de l'objet, quitte à obtenir ce résultat.

Un tel procédé repose sur le principe de représentation de la profondeur, en perspective cavalière : elle est représentée par une direction oblique. Analysons le problème d'un point de vue dynamique, en termes de déplacements dans l'espace :

Considérons un objet géométrique (un carré par exemple) se déplaçant le long de la normale au plan d'observation (la normale au plan directeur de la fenêtre de la vue de face). Dans l'espace graphique de la fenêtre 3D, les représentations graphiques de cet objet à des moments successifs de son déplacement seront analogues à celles d'un objet identique, se déplaçant dans un plan frontal, selon la direction fuyante de la perspective utilisée :

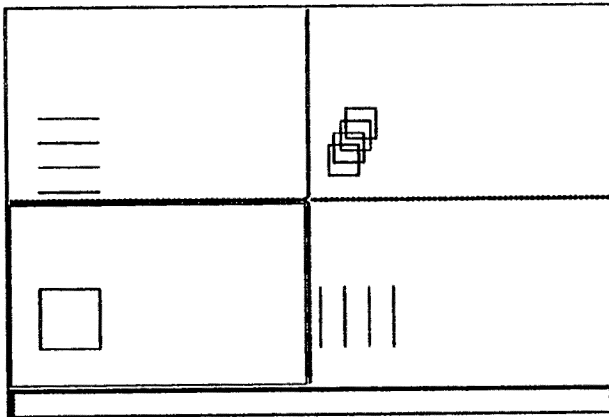


fig.V.40

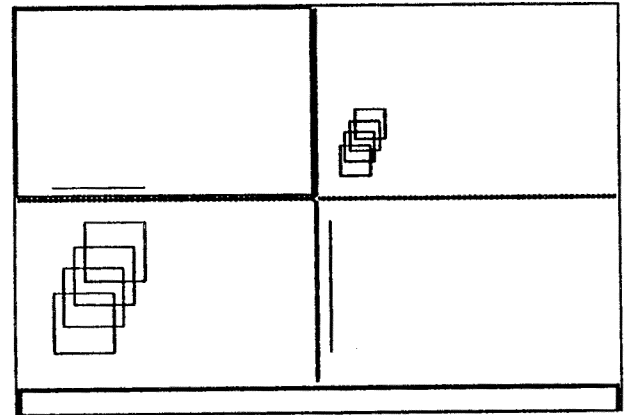


fig.V.41

Ainsi, des décalages en profondeur (direction normale dans l'espace tridimensionnel) entre les composants d'un objet sont représentés par des décalages obliques (direction fuyante dans l'espace graphique) entre leurs représentants (fig.V.40). Réciproquement, pour compenser des décalages obliques traduisant des décalages de niveaux de traitement, des élèves en sont arrivés à une décision de décaler successivement et obliquement la "vue" du composant en question, dans la fenêtre de traitement, de manière à arriver à une position qui fasse apparaître, dans la fenêtre 3D, sa représentation à la bonne position par rapport au dessin jusque-là construit (fig.V.41).

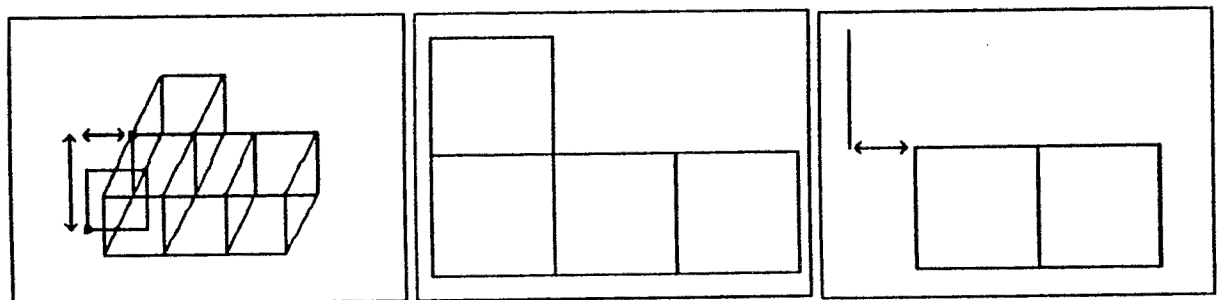
Une telle décision a été prise et mis en œuvre par Olivier et Stéphane. Elle était presque arrivée à réaliser l'objectif de "percevoir" dans la fenêtre 3D un dessin qui approche la représentation graphique désirée, sans l'atteindre, à cause du manque de temps et du coût élevé d'une telle procédure : Ayant été confrontés plusieurs fois au "problème des niveaux", et ne pouvant trouver le moyen pratique pour "régler les coordonnées", ((Olivier, Stéphane); Ass1; Etat E11)

O: regarde où il est là

S: ah ben, il est loin.. il est trop... trop bas peut-être

O: attends.... on essaye à chaque fois, d'accord?... regarde ce qu'on va faire.... un peu plus loin,...

S: ah oui, oui, jusqu'à ce qu'on tombe pile.... vas-y



vue 3D

vue de face

vue de côté

fig.42

Il y a donc une incompatibilité entre le résultat graphique obtenu (fig.42) l'intention des élèves (positionner le carré de façon à ce qu'il serve de face à un cube qui serait placé par-dessus le cube "derrière-gauche"). En fait, en dessinant dans la fenêtre de la vue de face un carré à la position qu'ils considèrent adaptée, ils obtiennent la représentation d'un carré situé au niveau "zéro" de traitement frontal (niveau valide par défaut).

Le décalage spatial selon la normale (exprimé par la vue de côté) est traduit par un décalage oblique dans l'espace graphique, décomposable en deux décalages horizontal et vertical (exprimés dans la vue 3D). C'est ainsi que, utilisant un contrôle perceptif figuratif pour la validation du produit graphique, les élèves décident que le carré obtenu est "*trop bas*". Ils prennent donc la décision de le déplacer (de le mettre "plus haut" dans la fenêtre de la vue de face) jusqu'à ce qu'il coïncide avec la position voulue (cf. dans l'annexe Ass1, (Olivier, Stéphane) : Etat E11 jusqu'à Etat E14).

III.8. conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une analyse comparée des problèmes qui peuvent se poser lors de la construction du type d'objets impliqués, au sein de plusieurs situations distinctes de dessin, dont celle à l'aide de Mac Space. Un des problèmes principaux est celui des modes d'accès, par le dessinateur, à l'espace de l'objet, à travers l'accès à l'espace graphique.

Les élèves ont été confrontés, au cours de cette situation, à ce problème d'accès particulier à l'espace du logiciel. Nous avons montré qu'au cours de leurs recherches d'une solution, les élèves sont orientés par des connaissances et pratiques qui ne sont plus adaptées au contexte présent (Mac Paint, dessin technique, dessin papier-crayon). Ces connaissances fonctionnent comme des obstacles, la résolution du problème doit passer par leur modification en fonction des exigences et des contraintes de la situation actuelle, ou même par leur dépassement pour en construire d'autres relatives et propres à cette situation.

D'après l'analyse de l'activité des élèves, nous avons pu repérer une hiérarchie dans les cadres de référence au sein desquels s'opère la recherche de solution : si une solution n'est pas immédiatement perceptible dans le cadre de Mac Space, la recherche se fait dans le cadre des connaissances et pratiques acquises au sein de Mac Paint. non adaptées, elles sont abandonnées pour une recherche dans le cadre du dessin technique. Les contraintes de la situation rendant ce dernier incompatible, la recherche est orientée vers les pratiques du

dessin papier-crayon. Nous pensons que cette hiérarchie établit un certain ordre entre les situations de dessin mobilisées par la situation, ordre qui va du plus élaboré au plus spontané. La résolution du problème ne sera alors possible qu'à travers un "saut informationnel" (Brousseau 1986) qui re-situe la recherche dans le cadre approprié.

Ainsi, les informations présentées au cours de la phase collective, concernant la signification de la boucle de sélection, ont de manières différentes débloqué la situation pour les élèves. Leur rôle a été de re-situer la recherche dans le cadre des possibilités du logiciel utilisé, possibilités que les élèves n'étaient pas en mesure de trouver sans aide, malgré le fait que la situation ait été problématisée et que le problème d'accès ait été formulé.

L'analyse de l'activité des élèves en aval de cette phase a montré que le sens qu'ils attribuent aux informations données au cours de la phase collective, et la manière de leur réinvestissement dépendent du moment où s'est située la phase collective par rapport à la série de leurs productions successives, et au sous-problème spécifique ayant bloqué la construction, à ce moment précis. A partir de ce moment, une transformation de ces informations doit être opérée, pour en dégager des règles d'utilisation non explicites dans l'exposé de leur mode de fonctionnement. Cette transformation des informations est conditionnée par l'état du problème posé au moment de l'intervention collective.

Il en résulte que l'intervention d'un dispositif dans une situation d'enseignement pose le problème de la gestion de la classe, et de la détermination du moment judicieux pour de telles interventions. Le problème est encore plus important dans le cas d'une tâche ouverte comme celle impliquée dans la situation analysée dans ce chapitre. Le problème peut être transformé en d'autres, la recherche se déroule dans d'autres cadres, en enchaînant d'autres problèmes pour lesquels les élèves ne possèdent pas nécessairement de moyens de solution (pour le cas présent, le "problème des niveaux", par exemple). Dans ce cas, la gestion du "temps didactique" devient une mission délicate, de même que le choix des informations à présenter aux élèves, et de la logique qui règle l'exposé de ces informations.

A la fin de cette séance, tous les élèves ont réussi à construire l'assemblage proposé ou, au moins, à "trouver le système" selon leur expression qui veut dire qu'ils ont trouvé la méthode cohérente pour achever la construction, une méthode fondée sur une construction intellectuelle d'une représentation de la solution.

Au cours de cette activité, s'est poursuivie l'évolution de la structuration, par les élèves, de l'espace du logiciel, en rapport avec l'espace de l'objet à représenter. Ce lien permanent s'est révélé comme une nécessité à la recherche d'une solution au problème d'accès. Tout le long de cette recherche, une analyse continue de la structure de l'objet a eu lieu, intégrant la construction et l'élaboration de relations entre ses composants. La recherche d'une solution au problème d'accès doit passer par la recherche d'une traduction de cette structuration de l'espace de l'objet en une structuration de l'espace du logiciel.

A travers la solution à ce problème et sa mise en œuvre par les élèves, se manifeste la structure stratifiée de l'espace. Cette représentation passe par le dépassement de l'obstacle "changement de point de vue", étroitement lié à l'obstacle de "la prégnance du perçu". En effet, jusque-là, la manière dont les élèves palliaient le problème de la perception (ou plutôt la non-perception) des dénivellations selon la direction d'observation était de changer de fenêtre de traitement, donc de changer de direction d'observation : pour concevoir des positions relatives selon une direction, il faut les percevoir. Un tel obstacle est contré par la mise en œuvre par les élèves de la boucle de sélection, comme seule solution disponible au problème d'accès. Contrairement à cette conception erronée (nécessité de changement de direction d'observation), la boucle de sélection permet l'accès à un composant de la représentation graphique au sein de la fenêtre dont le plan directeur lui est parallèle; la sélection du composant se fait parmi plusieurs, situés dans des strates à différents niveaux et ayant la même projection dans la fenêtre de traitement.

Dans ce même contexte des obstacles relevant du contrôle perceptif, l'analyse de l'activité des élèves a révélé un conflit entre le "perçu" et le "conçu". Comme nous l'avons vu, le contrôle par des relations projectives (alignement, connexité, coïncidence,...) est largement utilisé par les élèves. En grande partie, ce contrôle est fondé sur la perception : les élèves contrôlent perceptivement ces relations au sein de la fenêtre de traitement pour la construction, et au sein de la fenêtre de la vue 3D pour la validation. L'incompatibilité des résultats avec les attentes a favorisé chez tous les élèves le conflit mettant en cause la relation entre le "perçu" et le "conçu".

Comme nous l'avons illustré par des exemples, les élèves se basent sur les relations projectives au sein de la fenêtre de traitement pour garantir des relations analogues au sein de la représentation en perspective, traduisant des relations au sein de l'objet. Un tel conflit se manifeste, par exemple, suite à l'application de règle d'action (fausse), basée sur la relation erronée suivante : la connexité de deux carrés représentant, dans une fenêtre de

traitement, deux faces de l'assemblage entraîne la connexité de ces faces; ou, en la formulant autrement : pour obtenir, au sein de la représentation en perspective, deux faces connexes, il suffit que leurs projections dans la fenêtre de traitement correspondante soient connexes.

Cette formulation met l'accent sur la manière dont une telle relation assimile une implication à une équivalence; elle ne tient pas compte de la non-bijectivité de la transformation "projection". Les contraintes du logiciel ont déstabilisé cette règle en posant le "problème des niveaux" : dessiner deux carrés connexes dans une fenêtre de traitement peut donner lieu aux représentations de deux faces non connexes dans la représentation en perspective. Ce même problème sera posé d'une manière plus cruciale au cours de la situation suivante ("Escaliers", chap.VI).

Au cours de la situation présente, et quoiqu'il a déstabilisé cette règle d'action, le décalage entre le résultat graphique et les attentes des élèves n'était pas suffisant pour qu'ils puissent l'interpréter et toucher à ses raisons. Quelques-uns ont essayé de le contourner, par une autre règle d'action (qui pose, cette fois, le problème de la légitimité vis à vis du but définitif de la tâche) : c'est la règle d'action qui consiste à compenser les décalages selon la direction normale par des décalages selon les deux directions, verticale et frontale horizontale (cf. par exemple la stratégie de (Olivier, Stéphane), dans le § III.7). Une telle stratégie est rendue possible par la nature de la perspective, et par la puissance et vitesse d'action que les élèves peuvent avoir en manipulant le logiciel. En effet, elle est basée sur des approximations successives pour amener la représentation de la face en cours de construction à la place voulue, en déplaçant sa projection dans la fenêtre de traitement.

Une telle stratégie pose le problème de la légitimité d'une action au cours de la résolution d'un problème, en particulier à l'aide d'un dispositif dont les contraintes bloquent des actions légitimes mais fausses, d'une part, et dont les facilités permettent des actions non légitimes pouvant aboutir à un résultat acceptable, d'autre part. Ce problème de légitimité est lié au problème du sens qu'attribuent les élèves à la tâche qui leur est demandée, et au désir du maître en ce qui concerne le résultat à obtenir.

En effet, en appliquant cette règle d'action, les élèves savaient qu'ils faussaient la projection de l'objet dans la fenêtre de traitement courante. Mais ils acceptaient le pari d'une telle anomalie, contre l'obtention d'un dessin dans la fenêtre 3D, pouvant être interprété comme une représentation de l'objet à construire. Pour eux, le but définitif de la réalisation de leur tâche est d'obtenir un dessin correct en perspective, même si l'histoire de sa

construction a rompu avec sa réalité physique et géométrique. Ils prennent le pari car ils considèrent une de deux éventualités :

* soit que le maître évaluera leur travail à la base du produit graphique obtenu dans la fenêtre 3D,

* soit que le maître leur propose la tâche, en ayant effectivement l'idée et le désir non annoncés qu'ils appliquent de telles stratégies comme moyens de solution, ce désir n'étant pas annoncé pour des raisons relevant du contrat didactique : les élèves savent que les objectifs annoncés de la situation ne sont souvent pas ses objectifs réels; ces derniers restent souvent masqués par les exigences de la situation d'enseignement.

Finalement, la situation présente a révélé des aspects intéressants de l'ordinateur comme outil expérimental. Notre analyse par rapport à cet aspect ira à l'encontre d'une idée première commune qui considérerait que l'un des avantages de cet outil réside dans le fait qu'il offre des moyens d'expérimentation abondants et rapides, ce qui amènera à un moment ou à un autre à la résolution du problème, donc à la réussite. C'est le regard différent qu'ont les recherches en didactique sur cette notion de réussite qui orientera notre analyse vers une autre direction : la réalisation de la tâche ne manifeste pas nécessairement une réussite, dans le sens d'une construction par l'élève des connaissances liées à la situation, et d'un certain détachement de ces connaissances de leur contexte actionnel.

Avec l'activité présente, nous nous sommes intéressés à un autre aspect de cet outil, qui est en quelque sorte contraire à celui de la facilité et rapidité d'action, évoquant des possibilités d'apprentissage par essais-erreurs. Les contraintes du logiciel utilisé ont orienté les élèves vers des anticipations et des constructions intellectuelles antérieures à l'action. En effet, les élèves ont appris par leur expérience de manipulation de ce logiciel qu'une opération élémentaire peut déclencher une séquence de dialogue de type modal (où la machine gère l'opération en orientant l'action de l'utilisateur). De telles séquences peuvent être longues, et difficiles à interrompre, ce qui engage l'action des élèves dans de longs cheminements qui ne sont pas nécessairement ceux auxquels ils s'attendaient. C'est ainsi qu'on a assisté, chez les élèves, à une recherche continue d'un équilibre entre :

* les essais et l'expérimentation de fonctionnalités du logiciel, possibles à réaliser, mais qui peuvent entraîner l'action dans des voies qui l'éloignent de la solution, et qui sont coûteuses en temps;

* une certaine algorithmisation de la solution, en anticipant les opérations à réaliser, leurs résultats successifs et leur enchaînement.

Au cours de la situation présente, cet aspect a pu être mis en évidence par la nature de la tâche et la nature des objets à construire : l'abondance des composants en fait une tâche ouverte, où les problèmes et sous-problèmes peuvent être transformés en d'autres, ce qui élargit énormément l'éventail des essais possibles pour la recherche d'une solution. Pour chacun de ces essais, le risque d'une perte considérable de temps, ou d'une dispersion des objectifs de la recherche, incitent à l'organisation intellectuelle avant de passer à l'action.... C'est dans ce cadre qu'on peut interpréter des répliques comme : "*attends, bouge plus.... là, il faut réfléchir...*" ou "*il faut programmer ça avant... qu'on sache ce qu'il faut faire... qu'on se trompe pas cette fois*".

Chapitre VI

Construction d'une surface en escalier Structuration de l'espace en strates selon les trois directions principales

I. Objectifs et analyse a priori de la tâche

Les élèves ont été confrontés à cette situation- problème au cours de deux séances ("Escaliers1" et "Escaliers2"), à une semaine d'écart. La tâche leur a été proposée selon deux modalités différentes :

- * escalier "vu" de face, sans bordure (fig.VI.1)
- * escalier "vu" de côté, avec bordure (fig.VI.2)

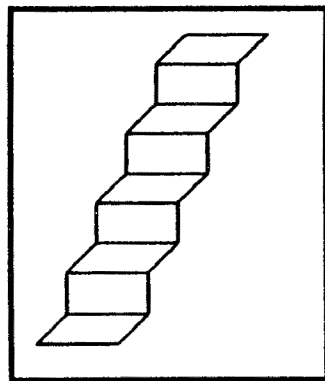


fig.VI.1.

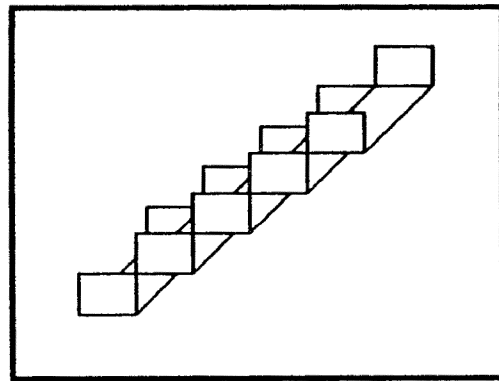


fig.VI.2.

I.1. Objectifs :

Trois objectifs sont visés par cette situation-problème, concernant le processus évolutif de construction par les élèves des trois aspects interdépendants de l'interface du logiciel utilisé :

- 1) Une représentation et un accès plus riches à l'espace, à travers la structuration particulière de l'espace par les objets concernés,
- 2) la construction de nouveaux aspects du système de référence qui régit l'espace du logiciel,
- 3) la construction du mode de fonctionnement du logiciel par rapport à certains problèmes déterminés.

I.1.1. Structuration de l'espace :

Les objets concernés par cette situation sont suffisamment connus par les élèves. Bien qu'ils fassent partie du méso-espace, et qu'ils ne soient présents dans la situation qu'en objets virtuels, leur structure familière rend possible aux élèves de se les représenter selon les différentes directions principales d'observation.

Le passage du monde des assemblages de cubes au monde des surfaces en escalier favorisera une autre structuration de l'espace : on ne trouve plus de facettes connexes coplanaires, amenant à concevoir un réseau de plans équidistants dans les trois directions principales de l'espace. Cette structure de maillage de l'espace disparaît pour laisser la place à une autre : Quoique toujours régulière et discontinue, la nouvelle disposition de composants favorisera un accès plus riche à l'espace, inférant la possibilité de dépasser la structure figée de réseau de plans équidistants, définie par une donnée numérique unique (mesure commune des arêtes des cubes composants).

Dans le cas présent, les plans des facettes composantes sont séparés par un pas constant qui n'est pas nécessairement le même dans les trois directions. Dans le problème posé, par exemple, le pas selon la direction normale est de 7, celui selon la direction verticale est de 5.

D'autre part, les objets concernés par cette situation sont caractérisés par une disposition autre des facettes composantes, modifiant les relations entre les "vides" et les "pleins" de l'espace. Comparons les deux situations, en considérant une facette particulière F_i ; soit D_i la direction normale au plan P_i de F_i :

- Dans le cas précédent, l'extension de la structure d'assemblage de cubes quadrille l'espace par un réseau de plans équidistants dans les trois directions principales, séparés par des distances égales à la mesure m de l'arête du cube-unité (fig.VI.3). Au sein de cette structure, il existe au moins une facette F_j contenue dans un plan P_j parallèle à P_i , tels que : P_i et P_j soient successifs dans la structure de quadrillage, et que F_i et F_j aient la même projection selon D_i , sur un plan quelconque, de même direction que P_i . D'un point de vue dynamique, on peut dire qu'à partir d'un point donné de F_i (un sommet par exemple), on peut accéder au point correspondant de F_j par un seul déplacement dans l'espace, dont l'amplitude est égale au pas m séparant les plans parallèles équidistants. Réciproquement, en effectuant un déplacement de valeur m selon la direction D_i , à partir d'un point de F_i , on est sûr de rencontrer une zone "pleine" de l'espace, car on sait qu'on aboutira au point correspondant de la facette F_j .

- Dans le cas présent, l'escalier structure l'espace par une autre disposition des "pleins"; si on imagine une extension des facettes composantes (fig.VI.4), on aboutit à un réseau de plans dans deux directions de l'espace, plans équidistants, mais séparés par des pas différents dans chacune des directions (si l'escalier a des bordures, on obtient, en plus, deux plans parallèles dans la troisième direction principale de l'espace; pour l'instant, considérons le cas où l'escalier n'a pas de bordures). Dans ce cas, en considérant une facette particulière F_i , aucune facette composante de l'objet ne vérifie les propriétés de F_j . D'autre part, à partir d'un point particulier de F_i , l'accès au point correspondant de F_j ne peut se faire que par la conjonction de deux déplacements dans l'espace, selon deux directions principales, dont D_i . Pratiquement, l'un de ces déplacements (celui selon D_i) doit être réalisé par l'affectation de la valeur adéquate à la "3^o coordonnée", le deuxième doit être réalisé dans l'espace de la fenêtre de traitement correspondante (relation entre les projections de deux facettes parallèles consécutives).

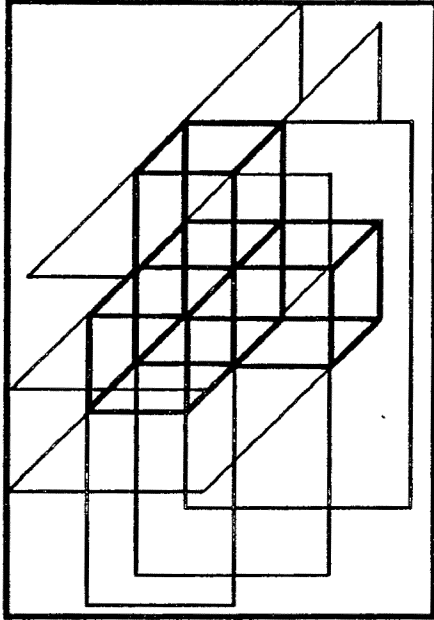


fig.VI.3

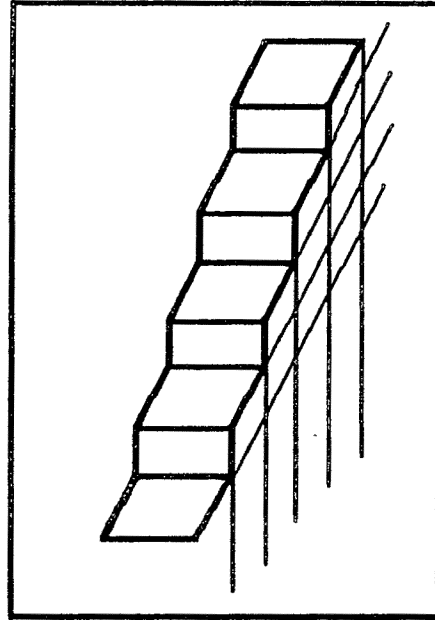


fig.VI.4

D'autre part, la structure des objets concernés impose une modalité de construction au sein du logiciel, différente de celle des assemblages de cubes. Composés par des solides constructibles d'une manière globale par le logiciel, les assemblages de cubes épargnent la nécessité de positionner une à une les facettes composantes, par rapport à l'espace du logiciel : à partir du moment où la "base de construction" de l'un des cubes est positionnée ou désignée, c'est le logiciel qui prend en charge le positionnement des autres faces de ce cube. La situation précédente donnait donc à l'élève la possibilité de construire (ou plutôt de faire construire au logiciel) des facettes à des niveaux de traitement différents (base et dessus d'un cube par exemple), sans avoir à régler leurs positions relatives (ou absolues). Le problème d'accès à l'espace pouvait ne se présenter que sous son aspect "Problème des étages". L'accès à des niveaux de traitement particuliers se faisait donc par désignation, à travers la boucle de sélection.

Ceci n'est pas possible dans le cas présent : la procédure de construction globale est bloquée de par la nature même des objets. Situer les composants de l'escalier dans l'espace du logiciel revient à y déterminer des zones "pleines", occupées par des surfaces rectangulaires à positionner à des niveaux particuliers dans chacune des directions principales de l'espace. Le problème d'accès à des niveaux de traitement particuliers ne peut donc plus être résolu sous son aspect "Problème des étages", où l'accès se fait par une reconnaissance perceptive de la facette "base" au cours de la boucle de sélection. Le "problème des niveaux" sera sûrement posé; la position d'une facette particulière en cours de construction doit être déterminée quantitativement, par l'explicitation à la machine d'une coordonnée déterminant son niveau de traitement.

Finalement, la composition des objets concernés par cette situation marque un pas vers une structure plus isotrope de l'espace, ou moins anisotrope que celle inférée par les empilements de cubes, privilégiant le plan horizontal de par le privilège accordé à la première couche de cubes. Au sein des objets concernés par la situation présente, les relations entre les facettes composantes sont analogues dans deux directions principales de l'espace, leur composition ne privilégie aucune de ces deux directions.

Cette tendance vers l'isotropie est encore renforcée au niveau pratique : Pour la construction des empilements de cubes, il suffit de construire les "bases de construction" horizontales des cubes de la première couche, auxquelles s'applique la procédure "Pri."; pour les couches suivantes, aucune nouvelle construction de facette n'est nécessaire, les "bases de construction" seront désignées par sélection. Les facettes non horizontales seront construites d'emblée par le logiciel, à partir de la base horizontale. Donc, la construction d'un empilement de cubes peut se réaliser entièrement dans la fenêtre de la vue de dessus. Par contre, la nature des surfaces en escalier impose un autre mode de traitement : selon sa direction, chacune des facettes composantes doit être distinctement construite dans la fenêtre correspondante. Ainsi, le premier problème implique d'une manière analogue les fenêtres de la vue de face et de la vue de dessus, le deuxième implique les trois fenêtres de traitement.

I.1.2. Système de référence du logiciel :

Dans la situation présente, on renoue avec celle du "pavé à mesures imposées" (chap.IV), par la donnée de plusieurs caractéristiques numériques, dans les différentes directions principales de l'espace. Alors qu'elles ont été marginalisées au cours de la situation précédente, les correspondances entre : les données numériques du problème, les directions principales de l'objet et les variations des valeurs des coordonnées redeviennent cruciales et nécessaires à construire pour la réalisation de la tâche. Commencée déjà au cours de l'activité "Pavé à mesures imposées", la construction des significations des coordonnées et des relations qui les lient se poursuivra au cours de l'activité présente.

A ce niveau de la séquence, les élèves ont pu construire certains aspects du système de référence régissant le logiciel : entre autres, le repère bidimensionnel du plan directeur de chacune des fenêtres. Par rapport à chacun de ces repères, la communication à la machine de deux données numériques (dimensions de la facette courante, "base de construction") se faisait d'une manière dynamique, en se basant sur la correspondance entre les déplacements du curseur selon les directions principales de la fenêtre d'une part, et les

variations des valeurs des coordonnées d'autre part; la communication de la troisième donnée numérique (hauteur du cube ou du pavé) se faisait de manière statique, en affectant la valeur adéquate au paramètre "Hauteur".

Un autre aspect important caractérise la tâche présente : Alors que, dans les situations précédentes ("Pavé" et "Assemblages de cubes"), les données numériques ne se présentaient que comme des valeurs-mesures (dimensions de la "base de construction", valeur de la hauteur du pavé ou du cube), les données numériques du problème présent se présentent sous deux aspects : valeurs-mesures (les dimensions de la facette en cours de construction) et valeurs-repères (le pas séparant deux facettes parallèles consécutives, ou la distance entre le plan de cette facette et le plan du trièdre, qui lui est parallèle); à l'aide de l'une, adéquatement choisie, des données numériques du problème, l'élève aura à déterminer la position de la facette en cours de construction, et à la positionner par rapport aux autres facettes, ou par rapport à l'espace du logiciel.

Les dimensions de la facette courante seront toujours communiquées à la machine de manière dynamique, selon les deux directions principales de la fenêtre adéquate; sa position, par contre, sera communiquée de manière statique, selon la direction normale au plan directeur de cette fenêtre. Contrairement au cas précédent, cette dernière opération ne correspond pas à une dimension de l'objet, elle correspond à une position d'une facette; la valeur communiquée de manière statique représente une valeur-repère par rapport à un plan du trièdre de référence du logiciel. Une telle distinction fondamentale pour la construction du système de référence est pratiquement concrétisée par une différence de traitement importante :

- Dans le cas du pavé ou du cube, les opérations se succèdent de la manière suivante :

* construction de la base, accompagnée de la communication dynamique de deux données numériques (fig. VI.5),

* communication statique de la troisième donnée numérique, en réponse à la requête "Hauteur" (fig. VI.6).

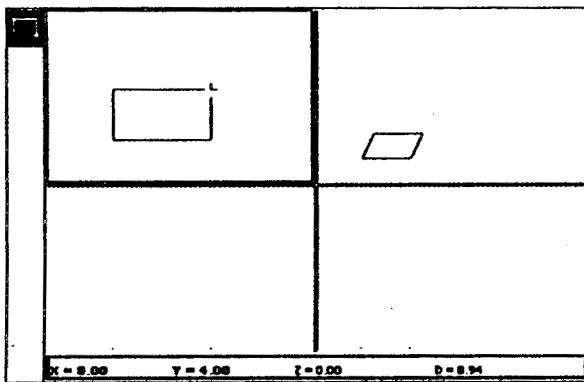


fig. VI.5

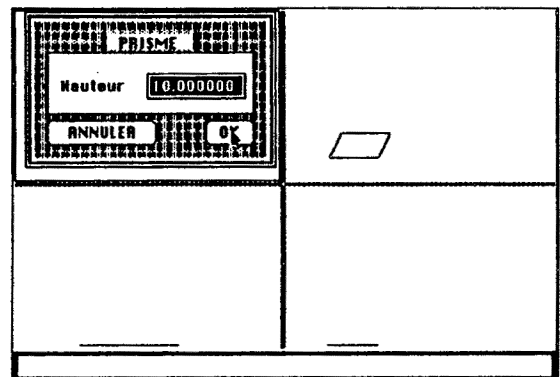


fig. VI.6

- Dans le cas de l'escalier, les opérations se succèdent de la manière suivante :

* communication statique à travers la commande "3° coordonnée" (fig. VI.7) d'une donnée numérique, ou d'une valeur déduite d'une donnée numérique par un calcul adéquat. Une telle valeur détermine la valeur-repère, coordonnée de la facette à construire par rapport à un plan du repère tridimensionnel; elle détermine, par suite, le niveau de traitement adéquat pour la construction de la facette;

* construction de la facette, accompagnée de la communication dynamique des deux autres données numériques (fig. VI.8).

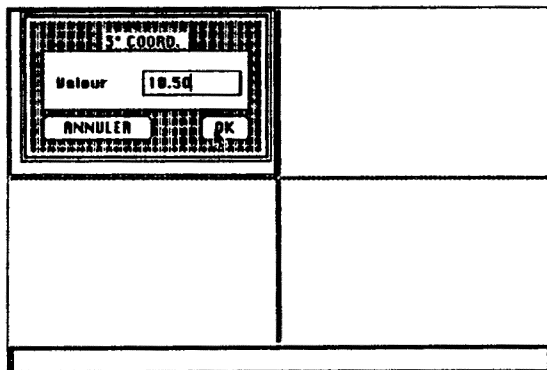


fig. VI.7

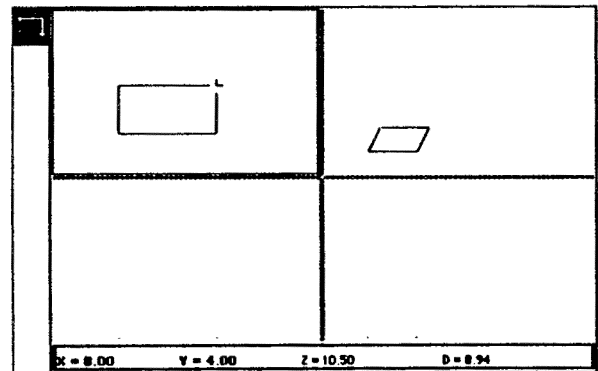


fig. VI.8

L'ordre des opérations (statique / dynamique) est alors interverti. Dans le premier cas, la valeur communiquée de manière statique a la signification de la dimension d'une surface qui sera bâtie à la base d'un support matérialisé par la "base de construction". Dans le deuxième cas, la signification de cette valeur est plus abstraite, car elle détermine la position d'un plan abstrait de l'espace, support d'une facette non encore construite, par rapport à un plan non matérialisé, et encore plus abstrait car il reste à découvrir (le plan du trièdre); en fait, cette valeur ne correspond plus à la dimension d'un objet mais à la valeur d'un déplacement dans l'espace, qui se mesure par rapport au système de référence du logiciel.

Pour la construction des facettes consécutives ayant une direction donnée, un réinvestissement de la valeur du pas correspondant doit être effectué par l'élève à chaque opération, pour déterminer la position du nouveau composant; l'élève doit ensuite communiquer explicitement à la machine la valeur numérique déterminant cette position, selon un mode de représentation imposé par le logiciel.

I.1.3. Mode de fonctionnement du logiciel :


La situation présente confronte les élèves à un problème dont la résolution nécessite l'utilisation d'une commande particulière, item d'un des menus du logiciel. Cette situation présente donc un nouvel aspect de l'interaction avec le logiciel : c'est l'interaction avec le langage utilisé dans les commandes et items, après une interaction avec des icônes, signifiants de fonctionnalités graphiques, reposant sur une certaine analogie figurale.

Dans notre analyse a priori de la situation, nous avons prévu la faible probabilité que les élèves puissent découvrir et faire fonctionner, sans intervention du maître, la commande solution à ce problème. En effet, le principe d'une telle construction est basé sur les deux processus de détection d'informations au cours de l'interaction entre l'élève et le logiciel : la nature du problème peut guider vers des options de nature déterminée, les réactions de la machine aux essais des élèves peuvent confirmer ou défavoriser les options, comme elles peuvent guider vers d'autres, en inférant une nouvelle transformation du problème.

Dans le cas présent, la part de la machine dans la "guidance" de la solution est moins importante que dans les cas précédents. En effet, au sein de la procédure "Pri.", l'élève était guidé par les réponses et requêtes de la machine, pour expliciter les valeurs des paramètres intervenant dans la solution (pour les dimensions de la "base de construction", il est guidé par le résultat graphique accompagné des variations des valeurs des coordonnées, ensuite par la requête de désignation de la facette "base" et par la requête de la valeur de la hauteur). Le mode de représentation et de traitement était assez explicite, la solution était basée sur la construction du sens de ces réponses et requêtes au sein même de la dite procédure.

Dans la situation présente, par contre, la confrontation de l'élève à des résultats graphiques non compatibles avec son but l'amène à la problématisation de la situation et à une prise de conscience de la nécessité de communiquer à la machine une valeur numérique, celle du pas qui sépare deux facettes composantes successives. C'est ainsi qu'il s'engage dans un processus de recherche d'une fonction ou d'une commande qui lui

permette d'expliciter cette valeur. Donc, sa recherche n'est pas guidée, cette fois, par un message ou une requête; elle doit parvenir à l'initiative de l'élève, et en fonction de sa localisation du problème et de la représentation qu'il se fait du type de commande ou d'outil nécessaire pour la solution.

Enfin, en supposant que la recherche par les élèves les amènera à essayer la commande "3° coordonnée", la probabilité est faible que cet essai aboutisse à un résultat positif. En effet, cette commande déclenche une fenêtre d'entrée d'information numérique (fig.VI.7). Après l'introduction de la valeur supposée adéquate, aucun effet de la commande n'est visible à l'écran; l'utilisateur possède à nouveau la possibilité d'accomplir un choix d'une fonction graphique ou d'une commande, le curseur reprend sa forme  désignant la remise de la machine à l'état que nous avons appelé "état initial" (cf. § III du chap.III). Ce n'est que par une initiative peu probable de construction d'une nouvelle facette avec cette valeur courante de la "3° coordonnée" qu'un effet peut être détecté... encore faut-il qu'il existe déjà une facette préconstruite, pouvant servir de repère perceptif et amener à la prise de conscience du changement du niveau de traitement.

Nous supposons que de tels faits, intervenant au cours d'une recherche par les élèves, et de tentatives de construction non encore accomplie de la signification des différents items concernés par cette recherche, favoriseront une déviation de la recherche, écartant cette commande comme possibilité de solution.

C'est pourquoi nous avons prévu une intervention du maître, qui ait lieu au moment où la situation sera problématisée par les élèves, où la situation se sera fermée autour d'un sous-problème précis, commun à tous, et où les élèves auront mené une recherche pour trouver l'outil-solution. Au sein de cette intervention, est organisé un débat collectif de la classe, visant à :

*poser et expliciter le problème commun ("problème des niveaux" et nécessité de trouver un moyen pour changer de niveau de traitement),

* collecter les propositions de solution supposées probables par les élèves,

* inciter à des essais de ces propositions au cours desquels les élèves seront incités à avancer d'un pas dans l'action, en conjuguant l'affectation d'une valeur à la "3° coordonnée" et la construction d'une facette, pour observer le résultat graphique que ces opérations produisent.

I.2. De "Escaliers1" à "Escaliers2" :

a) Espace de l'objet et espace absolu :

Par le passage de la séance "Escaliers1" à la séance "Escaliers2", cette situation vise à distinguer, en les opposant, l'espace relatif de l'objet, de l'espace réel absolu, observé selon une direction déterminée. Cette distinction doit se faire au cours de la construction de la représentation graphique de l'objet dans une position moins usuelle, par rapport à l'espace du logiciel. Dans le cas de "Escaliers2", la face de l'escalier doit être construite dans la fenêtre de la vue de côté, son côté dans la fenêtre de la vue de face.

Cette distinction déstabilisera l'identification, bien connue chez les apprenants en dessin technique, entre "une face" d'un objet (la face, le dessus ou le côté) et la vue correspondante de cet objet dans un espace dont les directions principales sont déterminées à l'avance, comme celui du logiciel (les vues sont définies à l'avance, indépendamment de la position de l'objet à représenter).

Pour pouvoir se comprendre entre eux au cours de leur interaction, les deux élèves d'un même binôme doivent, d'autre part, se mettre d'accord sur une utilisation des mots désignant les dimensions principales de l'objet : longueur, largeur, hauteur, profondeur,.... Dans "Escaliers1", ces appellations s'accordent avec celles de l'espace absolu : la "profondeur" de l'escalier est mesurée selon "la profondeur" comme direction principale de l'espace absolu (fig.VI.9). Par contre, dans "Escaliers2", ces nominations divergent : c'est la "largeur" de l'escalier qui sera mesurée selon "la profondeur" comme direction principale de l'espace absolu (fig.VI.10).

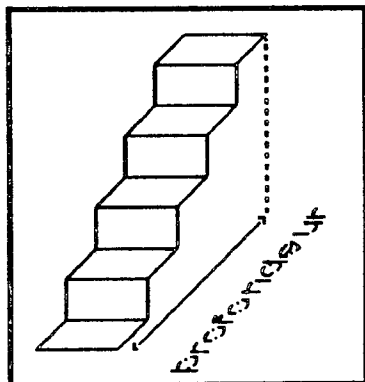


fig. VI.9

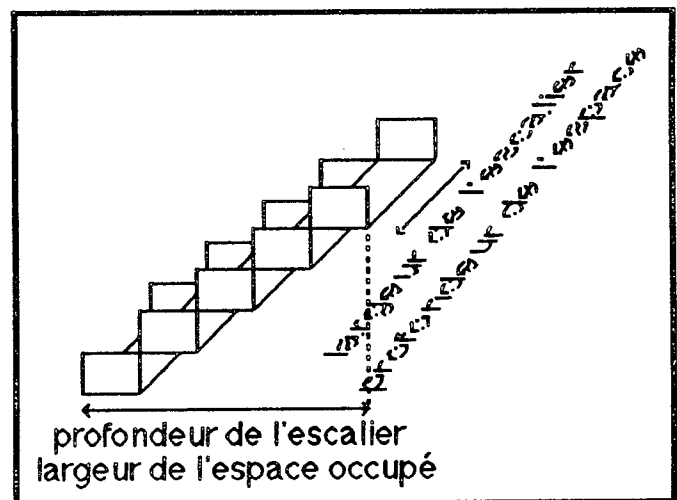


fig. VI.10

b) Enjeu de la perception :

Dans cette situation-problème, des moyens de contrôle particuliers sont favorisés alternativement, à des moments différents :

i) Dans "Escaliers1", la perception sera le moyen de contrôle privilégié, avec les systèmes de coordonnées de chacune des fenêtres, supposés acquis. En effet, au cours de cette activité, les élèves auront à découvrir des aspects du système de référence du logiciel, et de son mode de fonctionnement, qui leur permettent de bien positionner les facettes successivement construites. La validation de la position d'une facette par rapport aux autres se fera perceptivement; si ce n'est par la représentation en 3D (qui est le premier recours, mais qui laisse toujours une marge d'incertitude et d'ambiguïté), ce sera par les autres vues, dont la régularité et la familiarité auront un double rôle :

* elles consolident la perception comme un moyen de contrôle sûr, sur lequel on peut s'appuyer pour avancer la découverte et la construction du système de référence du logiciel, et des relations qui existent entre les coordonnées, relations qui se manifestent à travers le résultat graphique;

* elles empêchent des tentatives de traitement figuratif comme celles que nous avons trouvées chez les élèves au cours de la construction des assemblages de cubes (cf. stratégie figurative de (Olivier, Stéphane), § III.7 du chap.VI), traitement privilégiant le dessin obtenu dans la fenêtre 3D aux dépens de la représentativité de l'objet par toutes les vues. Un tel traitement était possible à cause de l'abondance des facettes composantes, et du fait que le passage de l'objet à ses vues n'est pas aussi immédiat que dans le cas présent. Dans l'amalgame des carrés composant les "vues" de l'assemblage, les élèves pouvaient tolérer un carré supplémentaire ou un carré non adéquatement positionné, pourvu que le dessin en perspective puisse être considéré comme une représentation de l'assemblage à construire. Un tel traitement n'est pas tolérable dans le cas présent, où les "vues" de l'escalier sont familières et régulières.

ii) Dans "Escaliers2", nous supposons que certains aspects du système de référence du logiciel auraient été construits par les élèves; ces aspects pourront servir, avec les acquis précédents concernant les significations et le fonctionnement des coordonnées dans chacune des fenêtres, comme moyen de contrôle pouvant remplacer la perception, lorsque cette dernière sera dévaluée.

Contrairement à la position de l'escalier de la séance précédente, la nouvelle position de l'escalier à construire mène à des enchevêtrements, dans sa représentation en 3D, entre les représentants des différentes facettes composantes (rappelons que le logiciel utilisé n'efface pas les arêtes cachées). Au fur et à mesure que la construction des facettes composantes avance, la perception sera défavorisée comme moyen de contrôle (surtout par la représentation en 3D), pour être remplacée par un contrôle à l'aide de l'alternance des opérations "affectation d'une valeur adéquate de la 3^o coordonnée" et "construction d'une facette ayant des dimensions adéquates".

Le contrôle par la perception sera complètement dévalué lors de la construction des bordures. En effet, après la construction des marches et contre-marches, la représentation en 3D serait arrivée à un haut niveau d'ambiguïté (fig.VI.11, représentant la vue en 3D de l'état E12 dans la séquence de construction par Olivier et Stéphane). La construction des premières bordures poussera encore plus loin cette ambiguïté, à cause du choix particulier des mesures : avec une largeur de l'escalier égale à 10 et une hauteur de la contre-marche égale à 5, le dessin obtenu selon la perspective particulière du logiciel présentera des coïncidences et des alignements trompeurs : dans la fig.VI.12, les segments représentant le bord supérieur de la 4^o bordure "devant et le bord "derrière" de la 3^o marche sont alignés (dans la fig.VI.12, leurs extrémités ont été marquées). Or, les deux éléments représentés sont à deux niveaux différents de profondeur, et à deux niveaux différents de hauteur.

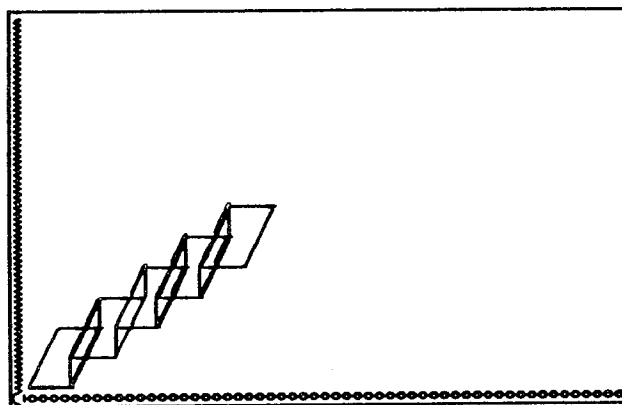


fig.VI.11

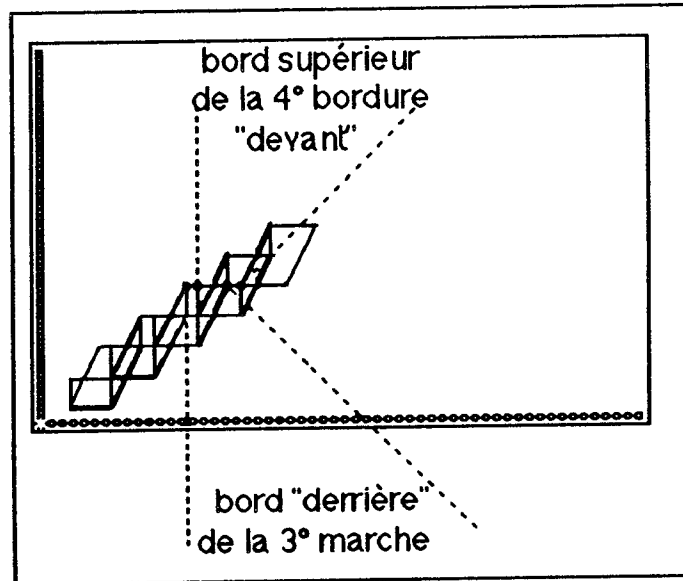


fig.VI.12

Dans ce cas, et au fur et à mesure que la construction avance en brouillant la perception, les élèves ne pourront contrôler leur construction que par une connaissance de plus en plus accrue du fonctionnement du système de référence régissant le logiciel, et par le contrôle intellectuel des valeurs qu'ils affectent aux coordonnées : aux coordonnées dynamiques, mais encore plus à la 3° coordonnée statique.

II. Analyse de l'activité "Escaliers 1"

II.1. Préliminaire :

La séance présente s'est déroulée en deux étapes, séparées par une séance collective. Au cours de cette séance, le maître est intervenu pour organiser une discussion collective autour du problème principal affronté et des propositions de solutions par les élèves, et finalement pour donner des informations concernant le mode de fonctionnement de "3° coordonnée".

Un aperçu rapide du contenu de cette séance collective sera donné dans la partie concernant la représentation du logiciel en tant qu'outil; nous nous contenterons, pour le moment de signaler que cette séance a marqué une déviation dans les algorithmes de solution des élèves, ce que nous montrerons dans la suite.

Dans l'analyse suivante des productions des élèves face à la situation présente, nous nous intéresserons donc à cinq aspects particuliers de leur activité :

1) les algorithmes de solution adoptés avant la séance collective. Un algorithme particulier sera étudié, qui donne un exemple d'application à la nouvelle situation de procédures déjà utilisées avec réussite, mais qui se trouvent non-adaptées;

2) la problématisation de la situation par les élèves, basée sur une première étape de structuration de l'espace du logiciel en fonction de l'espace de l'objet. Cette problématisation commencera avec le début de l'activité, et aboutira à la concentration du problème posé autour du "problème des niveaux" (l'interaction avec l'espace représenté par le logiciel);

3) la recherche, parmi les fonctionnalités du logiciel, d'outils susceptibles de résoudre ce problème. Un premier moment de recherche se situe avant la séance collective, un deuxième moment se situe après cette dernière, lors du changement de fenêtre de traitement (l'interaction avec le logiciel en tant qu'outil de réalisation d'un sous-but déterminé);

4) les algorithmes globaux de solution adoptés après la séance collective, par les élèves qui, alors munis de nouvelles informations à propos du fonctionnement de la "3° coordonnée";

5) la construction par les élèves du sens de la "3^o coordonnée", et le statut qu'ils lui accordent au long de leur construction du système de référence du logiciel (l'interaction avec le système de référence du logiciel)

II.2. Algorithme de résolution avant la phase collective :

(Pour la suite des procédures utilisées par chaque binôme et les états d'écran obtenus, voir l'annexe)

A la fin de la séance présente, les trois binômes étaient arrivés à des phases différentes de résolution du problème posé, correspondant à des phases différentes de l'interaction avec le système de référence du logiciel. D'après l'enchaînement de leurs procédures, nous avons pu dégager trois algorithmes principaux de résolution, le premier se situant avant la séance collective. Essayons d'analyser les conceptions qui se situent derrière chacun de ces algorithmes, et les raisons qui ont pu y conduire.

Algorithme "Prisme" :

Cet algorithme consiste à enchaîner les deux procédures "Rec." et "Pri.", ce qui aboutit à la construction d'un pavé ayant comme dimensions les trois données numériques du problème.

C'est selon cet algorithme que les trois binômes ont procédé dès le début de l'activité. Ce fait est significatif au niveau des essais d'adaptation à la nouvelle situation de procédures déjà utilisées avec succès dans d'autres situations.

Cet algorithme donne un exemple parlant de l'aspect sélectif caractérisant le processus de recueil et de structuration par les élèves des informations concernant le mode de fonctionnement du logiciel. En effet, aucun des trois binômes n'avait l'intention, en sélectionnant l'icône "Prisme", de construire un pavé; un tel résultat ne serait pas compatible avec leur but (ou avec un sous-but que ce soit) de construction de la surface en escalier (d'ailleurs, dessinée au tableau). Analysons donc les raisons ayant amené les élèves à utiliser cette procédure :

i) résolution du "problème des niveaux" à travers le "problème des étages" :

Rappelons que les élèves envisagent cette situation-problème après avoir affronté celle de la construction des assemblages de cubes, au cours de laquelle le problème de

l'accès à l'espace a été posé d'une manière cruciale, sous ses deux aspects : "le problème des étages" et "le problème des niveaux".

Au cours de cette séance précédente, les élèves ont été confrontés, sans exception, au "problème des niveaux". Notre choix, basé sur une hiérarchie de la difficulté des deux problèmes (cf. l'analyse de la tâche), était d'orienter vers la résolution de ce problème d'accès sous son aspect "problème des étages". La difficulté incarnée par le "problème des niveaux" reste donc suspendue.

La structure particulière de l' "escalier" exigeant de positionner des surfaces à des niveaux de traitement différents, la procédure de résolution du "problème des étages", acquise au cours de la séance précédente, semble être pour les élèves la solution à tout problème d'accès à un point particulier de l'espace.

C'est ainsi que l'adoption de la procédure "Pri." est équivalente, pour S., à une possibilité d'accéder à un niveau de traitement plus élevé que le premier niveau de traitement horizontal. Après avoir construit un rectangle [10,5] dans la fenêtre de la vue de face, :

((Olivier, Stéphane); 2,a)

O: et maintenant, je fais la hauteur ?

S: non, maintenant il faut prendre le cube, pour qu'on soit dessus.

L'utilisation du mot "cube" pour désigner "Prisme" est significative, au niveau de la mobilisation de procédures utilisées au cours de la séance précédente (assemblages de cubes). En fait, malgré le semblant de désaccord qui transparait derrière le dialogue précédent, les deux élèves projetaient de sélectionner l'icône "Prisme", chacun pour une raison différente : O. voit dans cette procédure la possibilité de communiquer à la machine la valeur de la hauteur, Stéphane y voit un moyen d'accéder à un niveau de traitement particulier.

ii) moyen de communication à la machine de la troisième donnée numérique :

Comme dans le cas du pavé droit, l'intention de communiquer à la machine toutes les données numériques du problème semble guider les actions et les prises de décision des élèves. La construction d'une première facette (frontale pour (Olivier, Stéphane), horizontale pour (Eric, Serge) et (David, Rachel)) ayant permis de communiquer

dynamiquement deux de ces données numériques, l'utilisation de "Prisme" revient à appliquer le seul moyen connu par les élèves, permettant d'introduire la troisième.

C'est dans cet objectif que s'inscrit la proposition de O. de "faire la hauteur", ce qui est équivalent, pour lui, au fait de sélectionner l'icône "Prisme". Son intention d'utiliser la procédure "Pri." était, dès le début, liée à ce souci, ce que révèle le dialogue suivant au cours de la construction de la première facette rectangulaire dans la fenêtre de la vue de face :

((Olivier, Stéphane); 1,a)

O: *je fais de 7, comme ça (selon la verticale) ?*

S: *non, non; la hauteur 5*

O: *mais la hauteur, on la fait pas*

S: *si*

O: *t'es sûr que la hauteur, on la fait ?... je crois qu'il fallait prendre l'autre face (la fenêtre de la vue de dessus)... je crois qu'il fallait prendre celle-là, de face, et que c'est lui qui demande la hauteur.*

Et après avoir achevé la construction de la facette dans la fenêtre de la vue de face :

((Olivier, Stéphane); 2,a)

O: *et maintenant, je fais la hauteur ?*

S: *non, maintenant il faut prendre le cube, pour qu'on soit dessus*

O: *de toute manière, il va demander la hauteur maintenant*

Le même objectif transparait chez les deux autres binômes, que ce soit au moment de leur prise de décision d'adopter la procédure "Pri." : "*voilà la longueur et la largeur... et maintenant, la hauteur...*", ou au moment de leur validation du résultat obtenu :

((David, Rachel); Etat E2)

R: *bon, on n'a pas commencé comme il fallait*

D: *pourquoi?*

R: *eh ben, la marche, elle doit être plate; donc, il fallait pas que je demande de hauteur*

D: *donc, c'était bon comme c'était*

R: *oui, il aurait pas fallu que je fasse ça... que je fasse un prisme.*

L'identification de la fonction de "Pri." à un moyen d'introduire la hauteur est clairement exprimée par la réplique de Rachel : "*il fallait pas que je demande la hauteur*", pour dire qu'il ne fallait pas sélectionner l'icône "Prisme".

Les deux raisons précédentes d'adoption de l'algorithme "Prisme" sont significatives au niveau du caractère sélectif du processus de détection opéré par les élèves sur les informations recueillies lors de l'application d'une procédure particulière. Cette sélectivité est fonction du sous-but envisagé par la procédure.

Cette sélectivité peut être schématisée par le procédé suivant : si plusieurs effets E1, E2, E3, etc.... résultent d'une manipulation M, et si le sous-but des élèves est d'obtenir un effet donné Ei, leur solution est d'appliquer la manipulation M, en ignorant les autres effets nécessaires de cette manipulation.

Ainsi, si le fait de sélectionner l'icône "Prisme" aboutit aux effets : boucle de sélection, requête "Hauteur" et résultat graphique, l'élève ne retient que l'effet qui fait partie de son sous-but ou qui aide à le réaliser, et ignore, jusqu'à résultat incompatible, les autres effets. La relation d'implication entre cause et effets est alors assimilée, par les élèves, à une relation d'équivalence entre la cause et un des effets, celui correspondant au sous-but visé.

Ce n'est qu'au moment de l'affichage du résultat graphique que les élèves se rendent compte des "effets secondaires", ce qui déstabilise la procédure :

((Eric, Serge); Etat E2)

E: oh non, on s'est planté

S: pourquoi ?

E: ben... on n'a pas besoin d'un cube

II.3. Structuration de l'espace du logiciel et problématisation de la situation :

Dès son début, cette activité a amené les élèves à une construction des rapports existant entre l'espace de l'objet à représenter dans sa position définie, d'une part, et l'espace du logiciel, à travers l'espace des fenêtres de traitement, d'autre part.

(Pour la suite des procédures utilisées par chaque binôme et les états d'écran obtenus, voir l'annexe)

II.3.1 Structuration de l'espace : désignations, mesures, directions

Parmi les processus-clés de construction de l'espace (cf. § III.2.1 du chap. IV), il s'agit surtout de la correspondance, à chaque opération, entre deux dimensions principales

de l'objet, et les deux directions principales de la fenêtre de traitement correspondante. Au long de la construction de telles correspondances, nous avons noté une interaction importante entre les cadres géométrique, linguistique et numérique : il s'agit des désignations utilisées pour désigner les dimensions principales de l'objet, en fonction des directions principales de son espace : c'est, par exemple, la correspondance entre "la profondeur" et la direction normale de l'espace, ou la correspondance entre "la hauteur" et la direction verticale de l'espace. De telles correspondances prennent de l'importance lorsqu'il s'agit de les lier aux désignations qu'utilisent les élèves, pour désigner les dimensions des rectangles représentant des composants de l'objet, par rapport aux espaces des fenêtres de traitement. Cet aspect de l'activité sera étudié dans la partie présente.

D'après les discussions des élèves concernant ces correspondances, nous avons repéré différents espaces auxquels leurs désignations font référence :

a) l'espace tridimensionnel de l'objet : dans un tel espace, la dimension selon l'horizontale frontale est "la largeur", celle selon la normale est "la profondeur" et celle selon la verticale est "la hauteur" (fig.VI.13). Ces désignations évoquent celles des solides, et infèrent à l'objet une certaine intégrité.

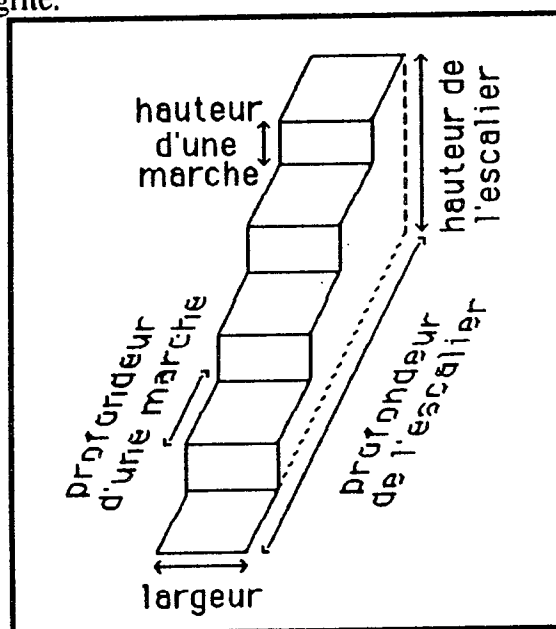


fig.VI.13

(Eric, Serge) ont commencé leur construction dans la fenêtre de la vue de dessus. Le dialogue suivant s'est déroulé au cours de leur prise de décision, à propos des valeurs à affecter aux dimensions du rectangle en cours de construction dans cette fenêtre. Un tel rectangle est supposé représenter la première marche.

((Eric, Serge); 1,a)

E: 5, la hauteur... 7 en profondeur, et 10, ce sera en largeur... prends 10.... 10 là, et 5

S: 5 ?

E: je crois, oui... hauteur....

S: 5 ? c'est pas 7 ?

E: non, je crois que 7, c'est la.... la vue au travers

S: non... on est en vue de dessus

E: on a 7 ou 5 ?

S: 7.. non ? c'est une marche, là...

Au début de ce passage, Eric utilise des désignations se référant à l'espace tridimensionnel de l'objet. Ces désignations instaurent des liens entre : les mots, les mesures et les directions :

5 ---> "hauteur" ---> verticale

7 ---> "profondeur" ---> horizontale normale

10 ---> "largeur" ---> horizontale frontale.

Ces liens, construits dans l'espace tridimensionnel absolu, peuvent poser des problèmes lors de leur utilisation dans des espaces relatifs tels que ceux des fenêtres. C'est, en effet, ce qui est révélé dans le dialogue précédent : dans l'espace de la fenêtre de la vue de dessus, la marche est représentée par un rectangle [10,7] ayant un côté horizontal et un côté vertical. C'est ce fait qui a amené Eric à proposer la mesure 5 pour le côté vertical, selon le lien :

verticale ---> "hauteur" ---> 5

Quant à Stéphane, qui n'a pas cherché à construire de tels liens entre les désignations, les dimensions et les directions, son raisonnement s'est situé dans le cadre des pratiques acquises en dessin technique (géométrie projective). Dans ce cadre, et abstraction faite des désignations ou des directions dans l'espace tridimensionnel absolu, il sait que la vue de dessus d'une marche doit avoir les dimensions 10 et 7.

b) espaces des composants de l'objet : l'espace tridimensionnel est conçu comme étant la juxtaposition de ceux des composants selon différentes directions principales. L'escalier est conçu comme un ensemble de marches et de contre-marches. Les dimensions d'une marche sont désignées par "longueur" et "largeur", en référence à la direction plane horizontale, celles d'une contre-marche par "longueur et hauteur", en référence à une direction plane verticale. Nous pensons que de telles désignations sont inférées par les désignations utilisées classiquement dans l'enseignement, lorsqu'il s'agit de solides : "longueur",

"largeur" (de la base) et "hauteur" (fig.VI.14). De telles désignations sont liées à une conception de l'espace privilégiant le plan horizontal et la direction linéaire verticale.

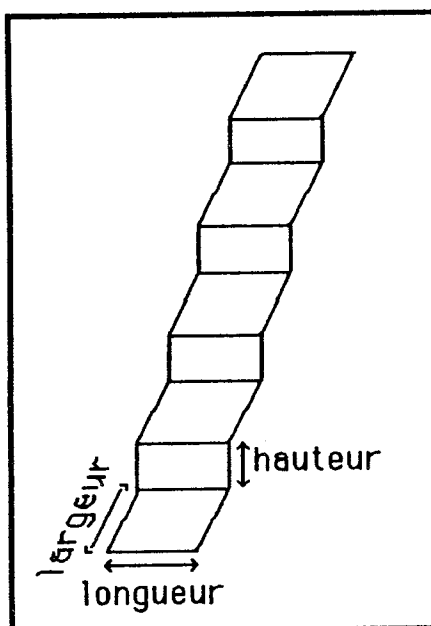


fig.VI.14

Dans le dialogue suivant, les désignations utilisées par Stéphane s'opposent à celles utilisées par Olivier et qui font référence à l'espace tridimensionnel de l'objet. Olivier et Stéphane ont commencé leur construction dans la fenêtre de la vue de face.

((Olivier, Stéphane); 1,a)

O: je mets là... c'est quoi déjà x et z... tout ça ?

S: c'est les dimensions

O: oui, mais c'est laquelle, la hauteur ?.. attends; ça, c'est la largeur (direction horizontale de la fenêtre de la vue de face),...

S: non, ça, c'est la... la longueur... t'as la longueur, la largeur, la hauteur... de toute manière là, on fait comme on verrait...

O: ça, c'est la largeur, et ça, la hauteur ? (horizontale et verticale de la fenêtre de la vue de face)

S: non... ça, c'est la... longueur, et ça.... [...]... la longueur, c'est ce qu'il y a de plus long, quoi

Au début de ce passage, Olivier voulait distinguer la "hauteur" des autres dimensions de l'escalier à construire "oui, mais c'est laquelle, la hauteur ?". En effet, la hauteur a pris un statut particulier pour deux raisons :

* à cause de la consigne, qui distingue "les dimensions d'une marche" et "la hauteur d'une contre-marche", ce qui lie fortement la valeur 5 à la désignation "hauteur", en laissant plus de souplesse dans l'affectation des deux autres valeurs (10 et 7) aux autres directions;

* à cause de la représentation de solution "Prisme" qui guide les premières procédures des élèves, et dont ils savent qu'elle amènera à une requête d'information "hauteur".

Face à cette représentation, on assiste à deux positions différentes des élèves, révélant deux degrés différents de généralisation et de relativisation de la requête "hauteur" :

((Olivier, Stéphane); 1,a)

O: je fais de 7, comme ça (la verticale de la fenêtre de la vue de face)?

S: non, non, la hauteur 5

O: mais la hauteur, on la fait pas

S: si

O: t'es sûr que la hauteur, on la fait?... je crois qu'il fallait prendre l'autre face (vue de dessus)... je crois qu'il fallait prendre celle-là, de face

S: mais non... $z=5$... monte jusqu'à 5, et dans ce sens.... 10

Olivier réserve la valeur 5 à la hauteur, comme il est dit dans la consigne. D'autre part, il considère que cette valeur ne doit pas être affectée au cours de la construction de la "base" du prisme, anticipant la requête de cette valeur par l'ordinateur. Cette conception est en contradiction avec le fait que la construction se fait dans la fenêtre de la vue de face. Une telle contradiction peut être résolue par le passage à la fenêtre de la vue de dessus : "je crois qu'il fallait prendre l'autre face".

Stéphane, lui, attribue les désignations "longueur, largeur, hauteur" aux trois dimensions des composants de l'escalier, mais réussit à les relativiser en fonction de la fenêtre de traitement, et en fonction des exigences de la procédure "Prisme". Ainsi, même si la requête d'information affichée par l'ordinateur est intitulée "Hauteur", et même si les données du problème donnent à la hauteur la valeur 5, on peut répondre par une autre valeur à la requête d'information, selon la fenêtre de traitement courante :

((Olivier, Stéphane); 2,b)

O: il va demander la hauteur maintenant

S: oui, mais c'est pas grave, ce sera la largeur.... en qqe sorte... enfin, tu vois ce que je veux dire ?

O: c'est de combien, la hauteur ?

S: la largeur... 7... attends voir, je vais t'expliquer.... vas-y, mets OK... tu vois ? on a 10 dans ce sens, 7 dans ce sens, et 5 dans ce sens... (il lui indique les directions sur la représentation du prisme dans la fenêtre 3D)

D'après ce passage, Stéphane a construit une correspondance entre deux systèmes d désignations des directions principales de l'escalier, et de leurs mesures :

système 1 : longueur = 10, largeur = 7, hauteur = 5

système 2 : base de construction du prisme [10,5], hauteur = 7

Le premier système d désignations fait référence à ce que nous avons appelé "espaces des composants de l'objet", le deuxième fait référence à l'espace relatif du "prisme" en cours de construction, pour lequel la "base de construction" est la face frontale. Cette correspondance marque un pas vers un détachement des désignations, et vers une conception plus isotrope de l'espace : ce qui est encore vu par Olivier comme une simple interversion des deux désignations "largeur" et "hauteur" est construit chez Stéphane en une relativisation de l'espace, pouvant amener à une conception de plus en plus isotrope, car permettant de construire la "base de construction" du prisme dans une quelconque des fenêtres de traitement, quitte à répondre à la requête "Hauteur" de la procédure "Pri." par la valeur adéquate parmi les données du problème, sans que cette valeur soit nécessairement celle donnée comme "la hauteur" par la consigne :

((Olivier, Stéphane); Etat E2)

S: on a 5 de hauteur, 10 de long, et... celle-là (il ne veut plus utiliser le mot "largeur", car la mesure 7 a été affectée comme étant celle de la hauteur)

O: enfin... 5 de largeur, parce que la hauteur, c'est la largeur

S: en quelque sorte, oui

O: la... la hauteur, c'est la largeur..... voilà.... et la largeur, c'est la hauteur.

II.3.2. "Problème des niveaux" :

Dès la dévolution du problème, la difficulté incarnée par "le problème d'accès à l'espace" est exprimée par les élèves comme étant la difficulté principale du traitement graphique avec Mac Space. C'est ainsi qu'on peut interpréter leurs remarques telles que :

R: oh non, c'est encore Mac Space... c'est les couches que je comprends pas.... j'ai à peu près compris comment on faisait un... un parallélépipède.... mais pour mettre deux couches l'une sur l'autre, alors là...

ou encore :

S: franchement, je préfère Mac Paint... au moins tu peux mettre là.... le point là où tu veux.

Comme nous l'avons vu dans un paragraphe précédent (cf. § II.2), l'un des objectifs des élèves, en adoptant l'algorithme de solution "Prisme", était de pouvoir accéder à différents niveaux de traitement de l'espace. L'échec de cet algorithme remet les élèves face au "problème d'accès" à l'espace, sous le seul aspect de "problème des niveaux", compte tenu de la prise de conscience par les élèves de la nature de l'objet comme une structure de surfaces, et de la non-adaptation de la procédure "Pri." pour sa construction.

La réaction des deux binômes (Eric, Serge) et (David, Rachel) s'est manifestée par un retour à un état précédent, l'état E1, et de considérer comme première marche la facette horizontale construite pour être la base de construction du pavé. Pour le troisième binôme (Olivier, Stéphane), elle a été de commencer la construction "*de la deuxième marche, pour voir ce que ça donne*", considérant que l'utilisation de "Pri." est le seul moyen connu de surmonter le "problème des niveaux". L'état E3 pose à nouveau ce problème, ce qui incite les élèves à abandonner la procédure :

((Olivier, Stéphane); Etat E'2)

S: *je me suis planté... regarde ça... regarde où on est*

O: *oh non !... oui, ça refait ... ça recommence encore*

S: *dès qu'on...*

O: *c'est le même problème que la dernière fois pour se mettre dessus... pour se mettre derrière*

S: *ça fait tjs au pif*

O: *oui... ça se met... n'importe où*

S: *j'ai jamais su comment on fait....on sait jamais comment il faut faire pour se placer à l'endroit où on veut, dans l'axonométrie, en fait*

Ce dialogue exprime "le problème des niveaux", maintes fois rencontré par les élèves au cours de leur activité précédente. Dans ce dialogue, on peut repérer un début de prise de conscience par les élèves des exigences particulières de la structure en question : alors que dans l'activité précédente il fallait se positionner juste "dessus" une face déjà existante (pour accéder au "second étage"), ou juste "derrière" une face existante (pour accéder au "second niveau en profondeur"), la situation présente exige en même temps deux décalages, selon deux directions principales de l'espace : "*c'est le même problème que la dernière fois pour se mettre dessus... pour se mettre derrière*". Après une construction de la première marche (procédure n°4 donnant lieu à l'état E3), ils s'engagent dans un processus de recherche d'un moyen pour résoudre ce problème.

Quant à Eric et Serge, on retrouve chez eux la stratégie de changement de fenêtre, en vue d'exprimer, ou de pouvoir accéder, à des niveaux de traitement non nuls :

((Eric, Serge); Etat E1)

S: il faut mettre 5 là... 5 ?... on fera la vue de face ?... là, il faut marquer... 5 ?

E: on peut pas... on travaille pas en axonométrie?

S: non, mais... on pourra mettre 5,... là... (il indique la fenêtre de la vue de face)

E: ... sur la vue de cô....té....

S: côté?

E: je ne sais pas

S: non, moi je dis de face

E: de face; mais la face, c'est celle-là, et on voit juste que ce petit trait là... ah oui, ben, on n'a qu'à en faire un autre, plus haut... bon, vas-y

S: non, mais attends.... je pense pas que ça marchera.

Dans ce passage, on touche à un souci commun des deux élèves : communiquer à la machine la valeur 5, troisième donnée numérique du problème. Deux projets de construction différents sont envisagés par les deux élèves, nécessitant tous les deux un changement de fenêtre : le projet de Serge considère la valeur 5 à communiquer comme une valeur-mesure (la hauteur de la contre-marche); sa proposition consiste à construire la contre-marche dans la fenêtre de la vue de face. Le projet de Eric, par contre, considère la valeur 5 comme une valeur-repère, égale à la distance séparant deux marches; sa proposition consiste à construire la deuxième marche, en accédant au niveau approprié à travers la fenêtre de la vue de côté ou de la vue de face.

II.4. Interaction avec le logiciel en tant qu'outil :

(Pour la suite des procédures utilisées par chaque binôme et les états d'écran obtenus, voir l'annexe)

A ce stade de la séquence, les procédures des élèves s'étaient stabilisées autour de l'utilisation des deux procédures "Rec." et "Pri."; cette conduite est, et restera, favorisée par la nature des objets à représenter (objets composés de surfaces rectangulaires).

Après l'échec de l'algorithme de solution "Prisme", nous avons noté dans l'activité des élèves un "retour" à un état précédent, où ils ont attribué à la "base de construction" du prisme le statut de la première marche (Olivier et Stéphane, eux, l'ont construite). Ce stade de l'activité (chacun des binômes a réalisé la première marche) a été suivi d'une recherche d'un moyen pour réaliser le double-objectif auquel la procédure "Pri." offrait une solution :

- l'objectif d'accéder à des niveaux de traitement particuliers, en vue d'assurer la connexité des marches et des contre-marches, ou de situer des marches à des niveaux différents. Cet objectif est contraint par "le problème des niveaux";

- l'objectif de communiquer à la machine la valeur de "la hauteur", troisième donnée numérique du problème. Cet objectif doit être réalisé,

* soit au cours de la construction d'une deuxième marche qui doit être à une distance de 5 de la première (5 est alors une valeur-repère); cet objectif pose alors le "problème des niveaux" dans la fenêtre de la vue de dessus,

* soit au cours de la construction de la première contre-marche de hauteur 5 (5 est alors une valeur-mesure); cet objectif pose alors le "problème des niveaux" dans la fenêtre de la vue de face.

En ce qui concerne l'objectif d'accès à des points ou à des niveaux particuliers de l'espace, et d'après le fait que le seul moyen connu par les élèves (à travers la boucle de sélection) n'est plus adapté, on note le retour à des procédures figuratives relevant des situations papier-crayon : les élèves tentent de travailler dans la fenêtre de la vue en 3D, pour pouvoir positionner le curseur (identifié à la pointe du crayon) à l'endroit voulu :

(Eric, Serge, après le retour à l'état E1)

S: il faut mettre 5 là.... on fera la vue de face ?... là il faut marquer 5

E: (il avait sélectionné la fenêtre 3D et essayé sans succès de sélectionner l'icône "rectangle") on ne peut.... on travaille pas en axonométrie ?

S: non, on peut pas.... mais on peut mettre 5 là... en vue de face

Comme les autres élèves, ils s'engagent ensuite dans une recherche d'un moyen d'accès à des niveaux de traitement et de communication à la machine de la valeur de la hauteur.

Au cours de la recherche, l'activité des élèves montre un rejet des procédures informatiques représentées par des icônes graphiques (procédures de création ou de transformation d'objets géométriques), et une orientation vers les commandes et options organisées dans les menus. Nous expliquons ce fait par deux raisons :

i) Presque toutes les procédures de création et de transformation ont déjà été essayées par les élèves sans succès, au cours de leur activité antérieure, en vue de la résolution des problèmes affrontés, dont le "problème d'accès"

ii) La problématisation de la situation par les élèves avait évolué vers une conception plus analytique du problème : à plusieurs reprises (cf. (Olivier, Stéphane), § III.4 du chap.V), des élèves ont exprimé le "problème des niveaux" comme étant lié à la détermination des coordonnées du point de départ dans la construction de la facette. Le langage utilisé par le logiciel pour la nomination des commandes et options des menus évoque une relation avec un tel objectif (surtout le menu "curseur" : "coord. absolues", "coord. relatives", "sur point existant", "3° coordonnée",...).

Chez les trois binômes, la recherche a commencé par une phase de recherche plus ou moins systématique dans les menus, excluant, néanmoins, les commandes dont ils connaissent déjà la fonction ("enregistrer", "quitter", "copier", "coller",...). Finalement, la recherche s'est stabilisée autour du menu "Curseur". Nous avons noté chez tous les binômes, et à plusieurs reprises, des retours aux options : "coord. absolues", "coord.relatives" et surtout "3° coordonnée". Ce fait peut être expliqué par :

- * l'objectif des élèves de communiquer à la machine les données numériques du problème, et surtout la troisième donnée non encore communiquée,
- * leur prise de conscience que la nature du problème de position des composants est liée à un problème de "coordonnées" du point de départ de la construction.

Malgré ces plusieurs retours à ces options, la recherche en a été détournée, à cause du fait que leur activation n'aboutit pas à un résultat visible à l'écran, à part la fenêtre d'entrée d'informations numériques. En ce qui concerne l'option "3° coordonnée", la réaction fut la même chez tous : ce n'est pas la commande adaptée à la situation.

(Eric, Serge)

E: essayons celle ... euh... 3° coordonnée

S: valeur....; qu'est-ce qu'on met ?

E: ben, 5, on verra bien (ils tapent "5" et attendent)

S: c'est tout ?

E: je ne sais pas.... et ça fait quoi ?.... attends, attends, il y a peut-être qqe chose

S: je fais OK ?... ben, ça fait rien, hein? on s'est fait avoir...

(David, Rachel)

R: la 3° coordonnée... normalement, ça doit être la hauteur, et la hauteur, c'est...

D: 5.... OK...

R: c'est fantastique, ça nous donne rien, ce truc là

D: bon...

R: on va continuer, hein?...

(Olivier, Stéphane)

O: essaie "3°... essaie de te mettre en "orthonormé", voilà, et mets-toi sur "3° coordonnée"...

S: et je mets 5 ?

O: voilà.... essaie de mettre 5... voyons ce que ça fait.... rien... ben, c'est une connerie.... ça doit pas être ça.... essayons autre chose

Dans le dialogue précédent, on peut toucher à l'influence du langage utilisé par le logiciel sur le choix des options, en fonction du registre mobilisé chez les élèves par la représentation qu'ils se font de la nature du problème, comme étant liée à un problème de repérage : dans l'essai précédent, les élèves essaient de conjuguer des options dont les nominations relèvent du langage utilisé, concernant le repérage, en cours de mathématiques : "repère orthonormé" et "coordonnée".

Par la suite, le critère que les élèves ont adopté pour juger si une option est adaptée à la situation fut : produit-elle un effet perceptible ou non ? Ainsi, malgré leur enchantement de voir les fenêtres de requête "x,y,z" suite à l'activation des commandes "coord. absolues" ou "coord. relatives", ils considèrent que ces commandes ne sont pas adaptées car l'entrée des valeurs numériques (les dimensions des marches et contre-marches) n'a pas abouti à un résultat graphique.

(Eric, Serge)

E: coordonnées relatives

S: ça va faire pareil... (il sélectionne) (fenêtre) AH !

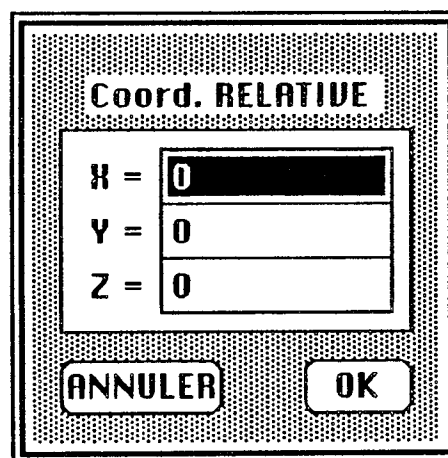


fig.VI.15

E: ah.... ça, c'est bien

S: x, c'était...

E: bon; ben, x c'est la longueur,...

S: 10

E: y c'est la ... et z...; 10, y 7,

S: après ? ? ?

E: oui, et z 5 on verra bien...

S: oh non, ça ne fait rien non plus, c'est pas la peine

E: bon.... coordonnées relatives....

S: mais ça va faire pareil

Les valeurs attribuées à x, y et z révèlent leur signification stable chez les élèves comme des valeurs-mesures, non comme des valeurs-repères. En leur affectant les valeurs 10, 7 et 5, les élèves considèrent avoir communiqué à la machine les caractéristiques numériques de l'escalier, ou au moins celles d'une marche et une contre-marche; ils attendent alors que ces composants soient produits à l'écran.

c'est ce même critère de changement (même minime) à l'écran qui a favorisé, pour Serge, la commande "orthonormé", car elle produit un changement de l'icône indicatrice de l'état du curseur :



(Eric, Serge)

S: eh !!... si, il y a un truc qui a changé

E: ah oui !... (attente, silence) oui, mais c'était pas ce qu'on veut, hein ?

S: c'est ça, je suis sûr... (en rigolant) j'espère

E: non, mais ça ne fait rien, là... si, ça peut peut-être faire une marche, mais enfin, c'est un angle droit, je dirais... essayons autre chose.... "sur point existant"....

Jusqu'à l'appel du maître à la phase collective, cette recherche s'est poursuivie, avec le même objectif : trouver une option qui aide à la construction d'une marche de niveau de traitement plus élevé que la marche déjà construite, ou une contre-marche connexe à cette dernière; lorsqu'ils ont épuisé tous les essais possibles pour réaliser cet objectif, des élèves se sont tournés vers des manipulations non liées au problème posé (ils se sont mis, par exemple, à activer des "accessoires de bureau", comme : "clavier", "calculatrice", "horloge", etc... dont ils savent qu'ils ne sont pas en mesure de résoudre le problème). Ceci montre que le problème est arrivé à un niveau de fermeture qui rend impossible sa transformation en un autre problème résoluble par des moyens connus par les élèves.

II.5. Algorithmes de résolution après la séance collective :

Il s'agit des algorithmes généraux de solution adoptés par les élèves en aval de la phase collective, où le débat a tourné autour du sujet de la commande adaptée pour la résolution du "problème des niveaux". Au début de cette nouvelle étape, les élèves disposent donc d'une information supplémentaire : la commande-solution pour accéder à un "niveau" déterminé, pour la construction d'une facette, est : "3° coordonnée". La sélection de cette commande doit être suivie de l'affectation de la valeur numérique adaptée et de la construction de la facette en question. Notons que le mot "niveau" a été "institutionnalisé" au cours de la phase collective. désormais, il sera utilisé par les élèves au cours de leurs échanges.

L'information à propos de "3° coordonnée" a été appliquée et réalisée par les élèves, au sein de la phase collective, sur un exemple de construction dans la fenêtre de la vue de dessus : ayant une facette rectangulaire [8,6], le but est de construire une facette parallèle, identique, ayant même projection, et situé à une distance 4 de la première.

Algorithmes "facette par facette" :

Ils sont basés sur la représentation de la solution inférée par l'échec de l'algorithme précédent (algorithme "Prisme"), et par la prise de conscience de la nature de l'objet comme une structure de facettes. C'est une telle représentation de la solution qui a guidé les recherches menées par les élèves pour trouver un moyen d'accéder à des niveaux de traitement différents. Cette représentation a été favorisée par les informations données au cours de la phase collective. Elle s'est présentée sous deux aspects, révélant deux algorithmes de construction :

a) alternance "marche, contre-marche" :

Un tel algorithme nécessitera un changement de fenêtre de traitement à chaque étape de la construction : alternativement, les fenêtres de la vue de dessus et de la vue de face seront adoptées. Il exigera, d'autre part, un travail intellectuel important, consistant à retenir en mémoire, et pendant une durée du travail, quatre valeurs numériques différentes : les deux dernières valeurs affectées à la valeur de la "3° coordonnée" au sein de chacune des

deux fenêtres, et les valeurs des deux pas d'augmentation différents, correspondant chacun à la valeur à ajouter à l'une adéquate de ces dernières valeurs, alternativement au sein de la fenêtre de traitement courante.

Dans le cas du problème présent, par exemple, supposons que l'élève soit à une phase de l'activité où il a réalisé trois marches et deux contre-marches. Pour simplifier, supposons en plus que l'élève a commencé sa construction au point (0,0,0). Il doit donc retenir les valeurs 10 et 14 comme étant les deux dernières valeurs affectées à la "3^o coordonnée" respectivement dans la fenêtre de la vue de dessus et celle de la vue de face, et les deux valeurs 5 et 7 comme étant les valeurs du pas à ajouter respectivement à chacune des valeurs de la "3^o coordonnée" au sein de chacune des deux fenêtres. La complexité de cet algorithme est encore d'autant plus grande qu'il faut penser à sélectionner la nouvelle fenêtre de traitement à chaque étape.

Comme le montrent les séquences des états et des schémas représentant les procédures des élèves, un tel algorithme a été entrepris, au début de la phase située en aval de la séance collective, par les deux binômes (David, Rachel) et (Olivier, Stéphane); abandonné par (Olivier, Stéphane) suite à leur procédure n°9 ayant abouti à l'Etat E9, il a été maintenu jusqu'à la fin de la séance par (David, Rachel), raison pour laquelle ils n'ont pu achever la réalisation de la tâche.

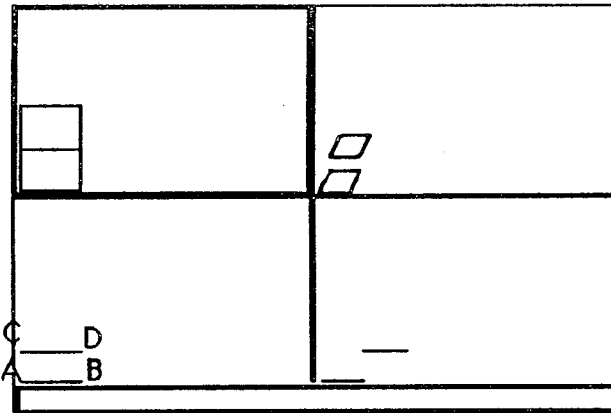
Etudions, chez (David, Rachel), les conceptions situées derrière cet algorithme :
Après avoir construit les deux premières marches,

((David, Rachel); Etat E3)

R: attends... alors, on devrait être sur la vue de... de face?... on va essayer de travailler sur la vue de face.... j'essaie, hein ? de toute manière c'est enregistré... trac... j'y vais là ? ... c'est pas parfait, mais c'est pas grave (elle essayait de régler la connexité, sans faire attention à la position de la contre-marche en cours de construction)

D: eh non, c'est pas au bon niveau

Suite à ce résultat (état E4), retour à l'état E3.



((David, Rachel); Etat E3)

D: tout à l'heure, on a commencé de là (le point A) et on a rejoint là (le point D),... c'était pas le bon niveau.... essaie de partir de là, cette fois (le point C)... peut-être ça le mettra au bon niveau

D'après cette proposition, il nous semble que Rachel associe chacun des segments de la vue de face au niveau de profondeur auquel est située la marche qu'il représente. Ainsi, en ce qui concerne les extrémités des segments représentant les deux marches dans la fenêtre de la vue de face, chacune est associée au niveau de profondeur auquel est situé le bord "le moins profond" de la marche correspondante. Une telle conception est liée à l'assimilation, souvent repérée chez les élèves, de la projection à une bijection : accéder à un point d'une "vue" revient à accéder au point de l'espace que représente ce point. Ainsi, le fait de positionner le curseur à l'extrémité du segment représentant la deuxième marche revient, pour David à situer la construction à son niveau de profondeur qui est le bon niveau de la contre-marche à construire.

N'ayant pas abouti au résultat désiré, cette représentation a amené quelques essais consistant à changer à chaque coup de point de départ dans la fenêtre de la vue de face (à chaque essai, un des quatre points A, B, C, D) et à orienter à chaque fois la construction selon les combinaisons des orientations : "vers la droite, vers la gauche" pour la direction horizontale, et "vers le haut, vers le bas" pour la direction verticale...

((David, Rachel); Etat E6)

D: il faut que ça soit décalé (il contrôle la construction dans la fenêtre de la vue de côté)

R: ah ben, de toute manière, je suis pas au bon endroit... l'as vu ?

D: si, si.. c'est parce que tu l'as mal placé.... [...]

R: attends (elle reprend la même construction, à partir du point D)... ben, on commence là, non ?... et ça le met là (le coin "droit, supérieur" de la facette frontale dans la fenêtre 3D)

Ces essais vains ont été suivis par la reconnaissance du problème, au sein de la nouvelle fenêtre (celle de la vue de face), comme un "problème des niveaux", problème résoluble par le contrôle de la valeur de la "3° coordonnée".

Au cours de leurs procédures suivantes, nous avons pu repérer chez (David, Rachel) une autre conception sous-jacente à cette alternance de construction "marche, contre-marche". Elle est la plus explicite au niveau de la correction qu'ils proposent à l'état E10, résultant de la procédure n°10 :

((David, Rachel); Etat E10)

R: il faut qu'on refasse un... un truc... il faut qu'on fasse d'abord le contre-marche.... on va essayer.... 3° coordonnée,... je vais demander 7, et je vais essayer de faire... [....]... ah non, il faut que je mette 14

Pour R., le remède à l'état E9 est de construire d'abord le contre-marche, pour permettre de se situer au niveau de hauteur adapté à la nouvelle marche. L'anomalie dans la position de la nouvelle marche n'est pas rattachée à la valeur qui a été affectée à la 3° coordonnée lors de sa construction, elle est plutôt rattachée à un certain état de l'ordinateur qui aurait dû arriver à la position adaptée. Cette conception est basée sur l'idée qu'une nouvelle construction commence là où la précédente est terminée, conception stable et liée au souci de préserver une connexité continue le long de la construction.

Dépasser une telle conception est l'un des objectifs principaux de la séquence, et l'une des nécessités incontournables pour la construction du système de référence, qui doit être basée sur une conception analytique qui dépasse la connexité des composants.

b) "toutes les marches, les contre-marches" :

C'est en adoptant cet algorithme que (Olivier, Stéphane) ont abandonné le précédent. Cette solution est une alternative économique, épargnant la complexité, déjà relatée, de l'algorithme précédent : La réalisation de la construction se réalise en deux étapes. Aucun changement de fenêtre n'est à effectuer au cours de chacune des deux étapes, seul un changement de fenêtre doit les séparer. Au cours de chaque étape, la valeur à affecter à la 3° coordonnée doit être augmentée d'un pas constant.

L'adoption de cet algorithme a été la réponse d'Olivier et Stéphane au résultat graphique obtenu en essayant de construire la première contre-marche :

((Olivier, Stéphane); Etat E9)

S: tu sais ce qu'on va faire d'abord? on va continuer à faire les marches comme ça, et ensuite on les reliera, quand on aura trouvé la méthode.

Quant à (Eric, Serge)., ils ont adopté cet algorithme dès le début de la phase de la séance succédant à la phase collective : ayant récupéré l'Etat E1, où la "base de construction" horizontale du pavé a été considérée comme la première marche, ils décident : *"on va continuer sur cette face.... on travaillera en vue de face après"*.

II.6. Evolution de la construction par les élèves du système de référence :

II.6.1. Mise au point

Les exigences de la situation présente et les caractéristiques des objets qu'elle implique rend indispensable la découverte et la construction par les élèves du système de référence régissant le logiciel. Dans ce paragraphe, nous analyserons surtout l'interaction importante entrée en jeu entre les deux cadres géométrique et numérique, ce qui mènera à enrichir un cadre analytique, au sein duquel les élèves possèdent quelques connaissances.

Il s'agit des deux exigences suivantes, relevant chacune d'un des deux cadres :

* l'exigence de communiquer à la machine les données numériques du problème : selon quel mode de représentation ? affectées à quels paramètres ? à l'état brut ou sous forme de résultats d'opérations algébriques sur ces données ? quelles opérations ?....

* l'exigence d'assurer, entre les facettes composantes de l'escalier les relations géométriques adéquates (surtout la connexité et les positions relatives); pour une facette particulière en cours de construction : dans quelle fenêtre la construire ? quelles correspondances respecter entre les mesures et les directions principales de la fenêtre ? quels paramètres de position faut-il communiquer ? par rapport à quelle autre facette ? par rapport à quel système ?.....

Ces questions seront affrontées par les élèves au fur et à mesure de l'avancement de leur activité, et en fonction des résultats graphiques successifs qu'ils obtiennent. Les réponses à de telles questions correspondront à des étapes de leur construction progressive du système de référence du logiciel.

A ce stade de la séquence avec Mac Space, et comme nous l'avons montré dans des analyses précédentes, les élèves ont pu construire les systèmes de référence

bidimensionnels de chacune des fenêtres de traitement, et à repérer la relation de chacune avec l'une des coordonnées qui reste constante (par défaut nulle) :

((Eric, Serge); après le retour à l'Etat E1)

S: là z est toujours zéro ?

E: oui, parce que c'est la vue de dessus... là il change..... si on travaille là (il indique la fenêtre de la vue de face)

S: c'est là qu'il change ?

E: oui, sauf y... c'est normal

S: mais comment on peut monter là ? (il indique la fenêtre de la vue de dessus) c'est z, normalement qui monte... donc il faut se mettre... en vue de face ?

A part la relation entre chacune des fenêtres et une des coordonnées, cet extrait de dialogue révèle une relation construite entre les variations des valeurs d'une coordonnée et la direction correspondante de déplacement du curseur : "c'est z qui monte".

Au cours de l'activité présente, nous avons repéré une relation étroite entre l'évolution, chez les élèves, de la construction du système de référence et celle des significations qu'ils ont progressivement attribuées à la "3° coordonnée". Ainsi, dans ce qui suit, nous analyserons l'évolution de ces différentes significations.

D'après l'étude des algorithmes généraux de solution (dernier état atteint de la représentation graphique), on peut remarquer un décalage entre les différents binômes, en ce qui concerne l'étape de réalisation de la tâche à laquelle chacun d'eux est arrivé à la fin de la séance. De ce fait, tous les élèves n'ont pas franchi toutes les étapes du processus de construction susceptibles de les amener à modifier ou élargir, jusqu'à l'étape complète, la signification qu'ils attribuent à la "3° coordonnée". Ce processus sera complété au cours de la séance suivante "Escaliers2". Pour l'analyse suivante des différentes étapes d'évolution de cette signification, nous donnerons des illustrations par des exemples de l'activité des trois binômes, mais nous privilégierons l'exemple de Olivier et Stéphane, pour plus d'une raison :

* Ils ont réussi à mener à bout la construction de l'escalier; ils ont donc été confrontés au plus grand nombre d'étapes pouvant les amener à modifier ou élargir la signification qu'ils attribuent à la "3° coordonnée";

* Contrairement à (David, Rachel), ils n'ont pas commencé la construction (dans la fenêtre de la vue de dessus) à partir du point (0,0,0); leur point de départ avait donc des

coordonnées initiales non nulles. Ils seront donc confrontés à une situation qui les oblige, pour assurer la connexité, à régler les positions des composantes construites dans les autres fenêtres (fenêtre de la vue de face) en fonction de ces coordonnées initiales qu'ils ignorent.

II.6.2. Signification en amont de la phase collective :

Comme nous l'avons signalé dans un paragraphe précédent, l'option "3° coordonnée" a été utilisée à plusieurs reprises au cours des essais menés par les élèves pour résoudre le "problème des niveaux". Nous avons pu repérer deux significations spontanées attribuées à cette option au cours de ces essais; ces significations sont liées à la représentation que se faisait chaque binôme du sous-problème posé et de la solution adaptée :

a) la "3° coordonnée" comme "3° mesure" :

Cette commande semblait être, pour les élèves, un moyen permettant de communiquer à la machine la valeur d'une, ou de plusieurs données numériques, mesures des composants de l'escalier. La nomination "3° coordonnée" est adaptée à cette signification, dans la mesure que les élèves identifient "dimensions de l'objet" et "coordonnées" dans le sens du triplet (x,y,z), auxquels ils attribuent une signification de valeurs-mesures (cf. § III.3 du chap.IV).

Une telle signification de la "3° coordonnée" est apparue chez (David, Rachel), pour qui le sous-problème essentiel était d'introduire la valeur de la "hauteur", après retour à l'état E1, au niveau duquel les deux autres mesures ont déjà été introduites (les dimensions de la première marche) :

((David, Rachel); recherche dans les menus après retour à Etat E1)

R: ah.... essayons la 3° coordonnée... normalement, ça doit être la hauteur, et la hauteur, c'est...

D: 5..... valeur.... je mets 5 ?

Quant à Eric et Serge qui, avant leur retour à l'Etat E1, avaient appelé un nouveau fichier (état initial), leur recherche était guidée par le sous-problème : communication à la machine des trois données numériques :

((Eric, Serge); recherche dans les menus après appel d'une nouvelle page) :

E: allez, "libre"... essaie "3° coordonnée",... eh attends.... première.... il y a pas première coordonnée?

E: allez, "libre"... essaie "3° coordonnée",... eh attends.... première.... il y a pas première coordonnée?

Après cette suggestion, Eric a parcouru les menus en cherchant une option "première coordonnée", en supposant que "3° coordonnée" signifiait la possibilité d'entrer la troisième mesure, encore fallait-il que les deux premières soient introduites. Il se représentait donc l'existence de trois commandes : "1° coordonnée", "2° coordonnée" et "3° coordonnée", permettant d'explicitier successivement les trois mesures. Cette représentation explique sa satisfaction de la fenêtre de requête des trois valeurs de x, y et z, déclenchée par "coord. absolues" : "ah.... ça, c'est bien "

b) la "3° coordonnée" comme valeur-repère pour situer le point de départ de la nouvelle facette :

C'est cette signification qui a semblé guider la recherche d'une solution par (Olivier, Stéphane) En effet, nous l'avons vu au cours d'une séance précédente, le "problème des niveaux", qui se manifeste par la non-connexité des facettes, a été interprété par ce binôme comme un problème de position, et par suite, de coordonnées du point de départ : "je pense qu'il faut régler quelque chose.... il faut lui dire les coordonnées de ce point.... lui, il part de n'importe où... quand nous, on met ce point, il le met n'importe où....".

Ainsi, l'option "3° coordonnée" a semblé répondre à cette solution de déterminer les coordonnées (ou au moins une coordonnée) du premier point à valider lors de la construction de la facette. c'est pour cette raison que que Olivier et Stéphane ont sélectionné "orthonormé" à l'avance, comme pour se situer au sein d'un repère "orthonormé", "comme en mathématiques".

II.6.3. Signification circonstancielle acquise au cours de la phase collective

Nous l'appelons "circonstancielle" car elle est liée aux circonstances dans lesquelles les informations autour de la commande "3° coordonnée" ont été communiquées aux élèves par le maître. De telles circonstances relèvent de :

* la nature du sous-problème au niveau duquel la résolution était bloquée et auquel la commande "3° coordonnée" offrait une solution. C'est, pour tous les binômes, le sous-problème de construction d'une facette horizontale située à un niveau de traitement défini par rapport à celui d'une facette préconstruite (Etat E1 pour (David, Rachel) et (Eric, Serge), Etat E4 pour (Olivier, Stéphane)).

* l'exemple sur lequel ont été mises en œuvre les informations données par le maître, au cours de la phase collective.

Cette signification relève d'une conception dynamique : la situation a été problématisée par l'exemple suivant : une facette est préconstruite, le but est de construire une nouvelle facette située à un autre niveau de traitement. Par défaut, cette nouvelle facette se positionnait au même niveau (niveau par défaut nul). La solution "3^o coordonnée" servirait donc à la "déplacer, tirer, pousser" pour la positionner au bon niveau (en fait, elle sert à situer le traitement au bon niveau, en déterminant une 3^o coordonnée au point parcouru par le curseur). La valeur de la 3^o coordonnée est donc celle de l'amplitude du déplacement nécessaire de la facette selon une direction adéquate (normale au plan de la facette).

D'autre part, ces circonstances délimitent le domaine de validité des informations recueillies au cours de la phase collective, et relient à ce contexte immédiat la signification que les élèves peuvent attribuer à la commande solution. D'après l'activité des élèves succédant immédiatement à la phase collective, nous pouvons constater que cette signification circonstancielle relie la "3^o coordonnée" à :

- * la construction dans la fenêtre de la vue de dessus (facettes horizontales),
- * la valeur du "pas" de déplacement (5), et la position relative de la nouvelle facette par rapport à celle préconstruite (non par rapport à un référentiel fixe).

C'est selon cette signification que l'activité de tous les élèves en aval de la phase collective a commencé par la construction de la deuxième marche (aucun des binômes n'a commencé par la construction de la première contre-marche). Ce fait est le plus significatif chez (David, Rachel) chez qui nous avons noté, dans la suite, une conception très stable de l'escalier comme un objet connexe et construit d'une manière continue : une nouvelle construction commence là où la précédente se termine (cf. § II.4. du même chap.); jusqu'à la fin de la séance, ils ont alterné "marche" et "contre-marche" pour assurer une telle connexité et une telle continuité; ce n'est que pour la construction de la deuxième marche que les deux élèves ont enfreint cette règle, par la force de cette signification favorisée par la phase collective.

cas particulier : Olivier et Stéphane

La signification circonstancielle retenue par Olivier et Stéphane est légèrement différente, par l'un de ses aspects, celui de la valeur à accorder au paramètre "3^o coordonnée" qui, pour les autres, était d'évidence la valeur de la hauteur. Or pour ce binôme, nous l'avons vu, le problème était davantage un problème de repérage qu'un problème de communication à la

machine des mesures de l'escalier. C'est pourquoi la première valeur qu'ils ont affecté à la "3° coordonnée" n'a pas été 5 :

((Olivier, Stéphane); Etat E4)

S: oui, 3° coordonnée

O et S: valeur

O: ah ben, j'en sais rien, moi

S: ben, tu mets... 10... attends, ça va dans ce sens là?... tu mets... aucune idée... on s'en fout

O: on essaie...

S: euh... on met 10... peut-être

O: oui, on peut toujours essayer

S: on essaie, pour savoir où ça se mettra.... puis on verra...

Ce n'est que par la suite, et en conséquence d'une interaction avec les résultats graphiques obtenus que ces deux élèves attribuent la signification "hauteur" à la valeur de la 3° coordonnée. En fait, cette interaction peut être étudiée en deux étapes :

i) une étape où la 3° coordonnée est liée à la direction normale de l'espace : cette liaison a remplacé, pendant un moment, celle avec la direction verticale, à cause du contrôle perceptif trompeur :

((Olivier, Stéphane); Etat E6)

S: ah ! il fallait mettre zéro... il fallait mettre zéro

O: il fallait mettre zéro ?!

S: oui, oui... efface d'abord ça... celui-là, ça l'a fait 10 plus loin

O: t'en es sûr ?

S: oui... mets OK directement... OK

O: (la valeur est inacceptée par l'ordinateur) laisse tomber... pourquoi tu veux 0 ?

S: pour le mettre juste derrière, en fait.... moi je pense que c'est la largeur qui a... la.. la largeur de la couche... la 3° coordonnée

O: (un autre essai d'affecter la valeur 0 à la 3° coordonnée) on va mettre 0.1 .. appuie... on verra si c'est comme tu disais

S: ça se mettra... à 0.1 derrière, en fait

Stéphane a, en fait, recours à la perception pour valider et interpréter le résultat graphique obtenu; l'objet de son contrôle perceptif est le dessin en perspective, déjà refusé comme représentation vraisemblable de l'escalier. A cause des ambiguïtés perceptives de la représentation en perspective, surtout en ce qui concerne la représentation de la direction normale (un exemple significatif a été donné dans le § III.7 du chap.V (cas de Olivier &

Stéphane)), Stéphane interprète le grand écart entre les représentations des deux marches comme étant un écart selon la direction normale, non selon la direction verticale; cette interprétation déstabilise alors la liaison antérieure entre la 3^o coordonnée et la direction verticale, en supposant que la valeur 10 affectée à cette 3^o coordonnée a renvoyé trop loin, selon la normale, la marche représentée : "*moi je pense que c'est la largeur qui a... la.. la largeur de la couche... la 3^o coordonnée*". Par cette réflexion, Stéphane veut parler de la direction de ce qu'il appelle "la largeur" : la direction normale. Sur ce, il propose alors la valeur zéro pour la 3^o coordonnée, pour "*mettre la marche juste derrière*".

Avant de prendre conscience de l'anomalie du résultat graphique :

((Olivier, Stéphane); Etat E7)

S: voilà... là, ça l'a fait juste après; avant, ça la faisait partout... voilà, ça marche

O: ça marche.... la 3^o coordonnée c'est quoi alors ? x, y, tout ça ?

S: c'est la couche, en fait... euh... c'est pour passer derrière... disons c'est la... la 4^o dimension

ii) une étape où la 3^o coordonnée est à nouveau liée à la direction verticale de l'espace :

((Olivier, Stéphane); Etat E7)

O: eh !... mais là, dans la perspective, il le met juste derrière !

S: oui... juste derrière

O: mais il est comme.... il est au même niveau que celui-là... c'est pas un escalier alors

S: ben oui, t'as raison.... en fait il fallait pas le mettre juste derrière, il fallait.... il fallait le tirer vers le haut..... ben oui, parce que c'était zéro

O: il faut mettre 5... c'est la hauteur..... la 3^o coordonnée, c'est la hauteur, alors

... "*il fallait le tirer vers le haut*"; c'est cette conception dynamique du positionnement d'une facette selon la direction normale à son plan qui a guidé la solution. Dans le cas présent, cette direction est la verticale; puisque la liaison entre "3^o coordonnée" et la direction normale s'est avérée erronée dans ce cas, cette option restera liée à la direction verticale, à la "hauteur", diraient les élèves, jusqu'à ce que la situation conduise vers une extension de cette signification.

Ainsi, pour ce binôme, la 3^o coordonnée a repris son sens comme étant liée à la hauteur, tout comme pour les autres binômes. C'est avec cette signification (3^o coordonnée liée : à la fenêtre de la vue de dessus, à la mesure de la hauteur, à la direction verticale) que les élèves continueront la résolution du problème.

II.6.4. Significations de la "3° coordonnée" en aval de la phase collective :

Le premier investissement par les élèves de la signification accordée à "3° coordonnée" par les circonstances de la phase collective a été la construction de la deuxième marche (Etat E8 pour (Olivier, Stéphane), Etat E3 pour (Eric, Serge) et (David, Rachel)). L'activité ultérieure des élèves a fait évoluer cette signification dans le sens de son extension, de son dépassement, et de la rupture des liens exclusifs instaurés entre la "3° coordonnée" d'une part, et une fenêtre, une direction, et une valeur particulières d'autre part, ces trois caractéristiques étant privilégiées par la signification circonstancielle de la phase collective.

Les moteurs d'une telle évolution ont été :

- * les exigences ultérieures de la tâche,
- * l'interaction avec le système de référence du logiciel, et les interprétations et réactions des élèves aux résultats graphiques progressifs obtenus.

a) extension de la signification de la "3° coordonnée", par la rupture de sa liaison exclusive à une fenêtre :

C'est au moment de la construction de la première contre-marche qu'on peut toucher à la stabilité relative de la liaison entre la "3° coordonnée" et la fenêtre de la vue de dessus. C'est aussi à ce moment que les exigences de la tâche et les règles de fonctionnement du logiciel favorisent une évolution de cette liaison, dans le sens de son extension.

Chez tous les binômes, le changement de fenêtre (de la vue de dessus à la vue de côté) a été caractérisé par un retour à des procédés graphiques figuratifs, non compatibles avec l'opérativité qui caractérise les représentations graphiques au sein du logiciel utilisé. Ce retour évoque des procédés graphiques utilisés dans une situation de dessin "papier-crayon", ou dans les situations de dessin avec Mac Paint: l'aspect le plus significatif dans ce sens est la recherche menée par les élèves pour trouver un outil de construction de "traits" :

((David, Rachel); Etat E3)

D: il y a plus qu'à faire les traits maintenant; comment tu fais les traits?

R: c'est une bonne question

D: parce que là, il y a rien pour faire les traits ? (ils repassent en vue les icônes graphiques en estimant l'adaptation de chacune à ce sous-but, puis recherchent dans tous les menus)

R: bon... il y a rien, probablement.... maintenant, pour rejoindre ces deux là,...

D: comment on peut les rejoindre ?

R: attends... ah mais... on peut faire un rectangle, en vue de face

Un procédé figuratif analogue est, de même, apparu chez (Eric, Serge), qui envisageaient de compléter d'un coup la "vue de face", en dessinant deux "traits" joignant, de chaque côté, les extrémités des segments figurant dans la fenêtre correspondante :

((Eric, Serge); Etat E8)

E: oui... donc, je crois, il faut peut-être mettre un trait là

S: oui, mais avec quel truc ?

E: ah mais il y a pas de trait, c'est vrai, ici... si, il doit y avoir un trait... c'est lequel?... (il cherche dans les photocopies des pages-écrans de Mac Space) attends, on a un petit problème

S: on peut pas faire... un trait d'un coup, là?

E: ben, si, peut-être avec un rec... tanglé, simplement, tout droit... qu'il fasse une ligne, carrément...

S: ah oui, je vois

Nous pensons que cette tendance vers des procédés graphiques figuratifs dès le changement de fenêtre est favorisée par deux faits :

* Que ce soit au stade où ils ont construit deux marches (cas de (David, Rachel)), ou à celui où ils ont construit toutes les marches (cas de (Eric, Serge)), les élèves ont le souci d'assurer au dessin représentant l'objet une certaine connexité qui regroupe les composants. Dans les situations usuelles de dessin, une telle connexité peut être assurée en joignant des points significatifs et déjà positionnés dans le dessin jusque-là construit (les sommets des parallélogrammes représentant les marches, par exemple). L'objectif d'un tel procédé est de procurer au dessin l'apparence d'une représentation graphique de l'objet, sans se soucier de préserver aux composants leur nature : la contre-marche ne serait plus représentée par un rectangle, mais par l'ajout de deux traits susceptibles d'aboutir au même dessin (c'est le procédé le plus économique dans une situation usuelle de dessin).

* La reconnaissance de l'analogie entre les deux étapes de la tâche (construction des marches dans la fenêtre de la vue de dessus, construction des contre-marches dans celle de la vue de face) n'est pas automatique. Encore l'est moins la reconnaissance par les élèves de moyens de solution analogues à ceux utilisés dans l'étape précédente (3^o coordonnée pour assurer la connexité), à cause de l'obstacle consistant à lier exclusivement la "3^o coordonnée" à la fenêtre de la vue de dessus; ce fait les incite à essayer d'assurer la connexité par des moyens usuellement connus (en joignant des points).

Puisque les contraintes du logiciel utilisé bloquent la réalisation de tels procédés, les élèves sont à nouveau contraints de préserver aux composants de l'objet leur nature géométrique :

pour représenter les contre-marches, il faut dessiner des rectangles dans le fenêtre de la vue de face.

Ce faisant, la position de la facette ainsi construite n'est pas adaptée. Encore une fois, la stabilité de la liaison exclusive entre la "3° coordonnée" et la fenêtre de la vue de dessus sera confirmée. En effet, aucun des élèves n'a eu spontanément l'idée de pallier la position non adaptée de cette contre-marche par la commande "3° coordonnée". Tous les binômes ont tenté d'autres stratégies avant que le problème de décalage et de non-connexité soit reconnu comme le "problème des niveaux", résoluble par l'affectation d'une valeur adéquate à la 3° coordonnée.

Analysons ces stratégies et les conditions de cette reconnaissance chez les trois binômes :

(David, Rachel)

(voir état E3, état E4)

Comme nous l'avons vu dans l'étude des algorithmes généraux de solution (cf. § II.4), la réponse de ce binôme à un tel résultat graphique a été de recommencer à plusieurs reprises la construction de la facette, en partant, à chaque essai, de l'un des points extrémités des deux segments de la vue de face (Etat E3), comme premier sommet validé.

Ces longs essais effectués sans succès pour pallier la fausse position de la facette construite montrent que les élèves n'envisagent pas encore le problème comme un problème analogue à celui qui a été posé au sein de la fenêtre de la vue de dessus; la solution "3° coordonnée" n'est pas encore envisagée comme une possibilité de solution, car sa liaison à l'action au sein de la fenêtre de la vue de dessus dresse un obstacle contre cette reconnaissance.

Suite au résultat obtenu par l'un des essais :

R: j'abandonne... ça ne marche pas... [...]...

D: ça, ça aurait pu aller (la position de la facette frontale était analogue à celle dans Etat E4)... si on pouvait le pousser à l'autre bout de la marche

R: c'est parce que... ah ! mais... il y a encore un problème de... de niveau, tu penses pas ?

D: comment ?

R: là il est au premier plan..... il faut qu'on trouve un moyen pour le mettre... eh bien, en sélectionnant l'icône, et 3° coordonnée... alors attends.... curseur, 3° coordonnée,[...]....

Le dialogue précédent illustre les conditions ayant amené la reconnaissance du problème déjà, confronté au sein de la fenêtre de la vue de dessus et, par suite, la rupture de cette liaison exclusive, et l'extension de la signification de "3° coordonnée" comme étant une

solution aussi applicable au sein d'autres fenêtres, au moins au sein de la fenêtre de la vue de face. Encore une fois, c'est cette conception dynamique du positionnement d'une facette qui a mobilisé ce moyen de solution : l'action souhaitée par David de "*pousser la facette obtenue à l'autre bout de la marche*" mobilise chez R. le rôle et la signification de la "3^o coordonnée". C'est avec cette reconnaissance, en fait, que l'extension de la signification de cette commande a lieu, en dépassant sa liaison exclusive avec la fenêtre de la vue de dessus, vers un domaine de validité plus large, couvrant de manière analogue toutes les fenêtres de traitement.

(Eric, Serge)

C'est après la construction de toutes les marches que ce binôme a affronté le "problème des niveaux" dans la fenêtre de la vue de face. Se basant sur une logique liée au dessin technique, leur première stratégie fut de construire un rectangle susceptible de donner à la "vue de face" une apparence analogue à celle qu'elle doit avoir. Cette stratégie est caractérisée par un retour à des traitements figuratifs, non compatibles avec le fonctionnement opératif du logiciel (l'intention des deux élèves était de dessiner "des traits" pour joindre les extrémités des segments représentant les marches).

((Eric, Serge); Etat E9)

E: ah non, il est décalé

S: en plus il y a pas les.... il est plat

E: donc, on fera... à chaque fois,....essaie peut-être rectangle par rectangle

S: 10 et 5 ?

(procédure n°10, ayant donné lieu à l'état E10)

E: non, il est mal placé... je pense qu'il y a encore une histoire de.... de déviation

A ce stade, et suite au décalage et à la non-connexité des facettes construites, on peut noter chez Eric un début de reconnaissance du problème comme étant analogue à celui déjà rencontré au sein de la fenêtre de la vue de dessus.... une analogie à laquelle Serge s'oppose "*on est en vue de face, là*"; encore fragile, l'idée de Eric n'a pas pu s'imposer. Nous pensons, là aussi, que la liaison exclusive de la "3^o coordonnée" à la fenêtre de la vue de dessus a dressé un obstacle à la reconnaissance du "problème des niveaux". La "stratégie de secours" ensuite utilisée par Serge repose sur un contrôle purement perceptif du dessin produit dans la fenêtre en 3D. Le décalage causé par un niveau de traitement non-adapté selon la normale est compensé par des décalages selon la direction horizontale frontale et selon la direction verticale, ce que révèlent les vues (Etat E11). La structure particulière et familière de l'objet représenté offre à Eric un argument pour réfuter cette construction :

((Eric, Serge); Etat E11)

E: non, mais ça ne va pas.... tu trouves que c'est un escalier, ça ? personne ne croirait que c'est un escalier

S: comment on va faire alors ?

E: je ne sais pas.... mais je pense qu'il y a encore une histoire de déviation.... essaie 3° coordonnée pour voir

L'échec de la dernière stratégie favorise à nouveau l'idée de Eric consistant à rapprocher le problème posé de celui déjà rencontré dans la fenêtre de la vue de dessus.

(Olivier, Stéphane)

((Olivier, Stéphane); Etat E8)

S: voilà... exactement.... il faut mettre le premier, là... comme ça, et tu mets pile au point

O: oui,

(procédure n°9, ayant abouti à l'état E9)

O: mais là, ça ne va pas, tu vois?

S: pousse vers le haut, peut-être....[...]... ah oui, c'est pas...

O: regarde ce que ça fait... il est loin

S: ah il faut encore jouer sur le... annule... annule, je vois ce que c'est....tu sais ce qu'on va faire d'abord? on va continuer à faire les marches comme ça, et ensuite on les reliera, quand on aura trouvé la méthode

Dans ce dialogue, transparait chez Stéphane un début de reconnaissance du problème comme étant analogue au précédent, résoluble par la même méthode, récemment acquise. Mais, si cette analogie est assez fondée du côté du problème posé "je vois ce que c'est", elle ne l'est pas encore du côté de la solution à adopter "on les reliera quand on aura trouvé la méthode". Ainsi, le problème a été renvoyé à plus tard, la "3° coordonnée" est encore restée liée à la fenêtre de la vue de dessus.

Les marches étant construites, le nouveau passage à la fenêtre de la vue de face remet les élèves face au problème (Etat E14). Ce n'est qu'alors que la solution "3° coordonnée" a été adoptée, ce qui révèle une extension de sa signification, et à une généralisation de son effet et de son efficacité à d'autres fenêtres de traitement que celle de la vue de dessus.

b) extension de la signification de la "3° coordonnée", par la rupture de ses liaisons exclusives à une valeur déterminée (5) et une direction déterminée (la verticale) :

La rupture de la liaison exclusive avec la direction verticale marque un pas vers l'abstraction de la "3^o coordonnée", de façon qu'elle puisse désigner, de manière analogue, selon les trois directions principales de l'espace, la position du plan de traitement. Elle déterminera la valeur de la coordonnée x_i , constante au sein de la fenêtre F_i ($i=1,2,3$). Une telle abstraction et généralisation de la signification de la "3^o coordonnée" favorisera, d'autre part, une représentation et une structuration mieux contrôlée de l'espace du logiciel. Conscients de la possibilité de modifier dynamiquement les valeurs de deux coordonnées (identifiées par les élèves, à partir de la validation du premier sommet, aux dimensions du rectangle en cours de construction), ils prendront progressivement conscience de la possibilité de régler la position de la dite facette, à l'aide de la 3^o coordonnée.

Au sein d'une fenêtre, l'espace sera donc maîtrisé :

- * selon la direction normale au plan directeur, de manière statique en fixant la valeur de la 3^o coordonnée qui déterminera le niveau de traitement auquel on veut situer la facette en cours de construction (valeur-repère);
- * selon les deux autres directions, de manière dynamique, en faisant modifier les valeurs des deux coordonnées au sein de la fenêtre par les déplacements du curseur, en vue de fixer les dimensions de la facette (valeurs-mesures).

L'espace d'une fenêtre est donc anisotrope. La généralisation de la signification de "3^o coordonnée", et son utilisation de manière analogue dans les trois fenêtres de traitement (dans deux fenêtres pour "Escaliers1") procurera à l'espace du logiciel une isotropie provenant de l'analogie de traitement dans les espaces des trois fenêtres (même si chacun de ces espaces est anisotrope). L'évolution vers de telles conceptions est favorisée par la nature des objets à construire qui, contrairement aux assemblages de cubes, ne peuvent être construits que facette par facette; d'autre part, ils ne peuvent être construits au sein d'une fenêtre unique (celle de la vue de dessus dans le cas des empilements de cubes); la fenêtre de traitement d'une facette donnée est déterminée par sa direction, l'objet présente des facettes dans deux directions ("Escaliers1") ou dans trois directions ("Escaliers2") principales de l'espace.

La rupture de la liaison exclusive de la "3^o coordonnée" à une valeur déterminée est liée à l'évolution de la découverte et de la construction par les élèves des relations existant entre les éléments du système de référence régissant le logiciel. Les opérations que les élèves doivent effectuer sur les données brutes du problème pour déduire la valeur à affecter à ce paramètre, à chaque construction, traduisent des relations géométriques entre les composants de l'objet et, surtout, entre ces composants et les référentiels fixes composant le

repère tridimensionnel de ce système. Analysons cette évolution et cette construction, en mettant l'accent sur des moments particuliers et sur deux phases de l'extension du sens de "3° coordonnée", correspondant à des aspects différents de cette évolution : les moments de changement de fenêtre, et les deux phases de construction des facettes dans chacune des fenêtres.

Dans ce qui suit, on touchera à l'importance de la possibilité d'expérimentation qu'offre l'ordinateur, dans les rétroactions qu'il peut créer au sein de l'activité intellectuelle des élèves : un résultat graphique non désiré incite à une recherche de la raison de l'erreur, cette raison pouvant amener une autre représentation de la solution basée sur d'autres conceptions. La mise en œuvre de cette nouvelle représentation amènera à une nouvelle expérience et un nouveau résultat graphique, qui consolidera ou dévaluera ces conceptions... et ainsi de suite.

moments de changement de fenêtre :

Les deux binômes (Olivier, Stéphane) et (David, Rachel) donnent deux exemples différents du point de vue de l'unicité de ces moments : Pour les premiers, ayant adopté un algorithme de solution "marche, contre-marche", un seul changement de fenêtre a eu lieu le long de l'activité (sauf essais); pour les seconds, un changement de fenêtre a eu lieu à chaque construction d'une facette (vue l'alternance). Dans les deux cas, une importance particulière sera accordée au premier changement de fenêtre.

*** Premier changement de fenêtre :**

Nous parlerons du moment qui a immédiatement suivi la reconnaissance du problème posé dans la fenêtre de la vue de face comme étant le "problème des niveaux", analogue à celui qui a été posé dans la fenêtre de la vue de dessus, et résoluble à l'aide du même outil (concept de la "3° coordonnée").

Pour l'un des binômes (Eric, Stéphane), leur activité n'a pas atteint ce moment. L'extinction du temps consacré à l'activité a coïncidé avec la reconnaissance du problème de décalage rencontré dans la fenêtre de la vue de face comme un problème résoluble à l'aide de "3° coordonnée". Cette reconnaissance n'a pas été effectivement mise en œuvre.

((David, Rachel); Etat E6)

R: ...[...]... eh bien, en sélectionnant l'icône, et 3° coordonnée... alors attends.... curseur, 3° coordonnée, valeur, c'est.... combien ? c'est 5 ? c'est ça ?

D: hum

On peut noter, dans cette affectation, une relation automatique de la "3° coordonnée" à la valeur 5. Cette relation est d'autant plus stable chez ce binôme que leur première conception de la "3° coordonnée" était celle d'un moyen permettant de communiquer à la machine la valeur de la hauteur. C'est le résultat graphique qui déstabilisera cette relation.

((David, Rachel); Etat E7)

R: ah non !... on aurait pas dû dire 5... on aurait dû dire... euh... non, 5, ça doit pas être bon.... tu vois?... je sais, c'est parce qu'on s'est trompé, il fallait pas donner 5.... le niveau.... c'est parce que, regarde, ce qu'il nous faut donner, comme 3° coordonnée, c'est... c'est ça (avec le curseur, elle longe la ligne oblique de la représentation de la 1° marche, sur le dessin en 3D).... c'est combien ?... je ne sais plus

D: càd. 7

R: c'est 7, ça ? allez hop..... on y va.... 3° coordonnée, 7, OK, et cette fois, ça devrait être bon..

Pour interpréter l'erreur, Rachel passe du cadre informatique au cadre géométrique : d'un cadre où elle avait construit un certain sens et affecté une certaine valeur à un paramètre, à un cadre où l'interprétation du résultat graphique peut se faire à la base de relations géométriques entre les éléments. L'interprétation s'est accompagnée donc du détachement de "3° coordonnée" de la direction verticale d'une part, et de la valeur de la "hauteur" d'autre part. En effet, cette commande avait "déplacé" la facette frontale dans la direction normale, mais pas assez pour qu'elle soit connexe à la marche.

((Olivier, Stéphane); Etat E13)

O: non, attends, maintenant il faut réfléchir... on va travailler sur la vue de face... on revient à... 5...

S: il faut faire 7 ou 10; mais lequel, ça,...

O: 5, il faut faire

S: non, 5, c'était pour la hauteur; maintenant, il faut changer de coordonnée

O: non, justement, il faut qu'on ... qu'on recommence, comme on a fait pour la hauteur, hauteur 5

S: non.... on travaillait dans une dimension, maintenant on travaille dans une autre

O: oui, mais il faut être à 5, quand-même... d'en-bas,....(court silence) non, tu dois être à zéro

S: non, pas à zéro, à 7 ou à 10, à mon avis

O: c'est à zéro, hein?... on est tout en bas, on est à zéro, hein?

S: on va essayer ce que ça va faire

Pour ce binôme, le moment du premier (et seul) changement de fenêtre se situe après la construction de toutes les marches. La "3° coordonnée" a donc dû prendre différentes

valeurs. Sa liaison avec la valeur 5 est alors moins stable, mais pas complètement rompue, car toutes les valeurs qui lui ont été déjà affectées ont été calculées à partir de la valeur 5 (l'ajout de la valeur du pas 5 à chaque opération de construction d'une marche). D'autre part, la liaison avec la direction verticale n'a pas encore été compromise.

C'est pourquoi Olivier propose de réinvestir la même séquence de valeurs déjà utilisées, séquence liée à la valeur de la hauteur, en tant que dimension de l'escalier (valeur-mesure) "il faut qu'on ... qu'on recommence, comme on a fait pour la hauteur, hauteur 5 " et à la direction verticale "il faut être à 5, quand même.... d'en-bas... non, tu dois être à zéro...[...].... on est tout en-bas, on est à zéro.... ".

Signalons, ici, que cette dernière supposition d'Olivier (la "3° coordonnée" doit être nulle) est basée sur une conception erronée dressant un obstacle que nous définirons dans le paragraphe suivant ("obstacle plan de la facette").

A ces suggestions, s'est opposée la structuration de l'espace par Stéphane en "dimensions"... "on travaillait dans une dimension, maintenant on travaille dans une autre ". Rappelons, ici, que c'est vers ce discours et ce langage qu'a évolué la formulation par Stéphane du "problème d'accès" à l'espace, au cours des séances précédentes... "il faut qu'on puisse travailler dans les trois dimensions en même temps.... il faut qu'on puisse bouger les trois coordonnées ". Son abstraction de la direction liée à la "3° coordonnée" est basée sur sa prise de conscience en ces termes du problème posé, conjuguée avec sa prise de conscience que, pour chaque fenêtre, deux coordonnées sont variables et la troisième constante, celle qu'on peut modifier à l'aide de la "3° coordonnée".

Quant à la valeur qu'il faut affecter à la "3° coordonnée", il part d'une hypothèse qu'elle doit être l'une des données numériques du problème. Puisque la valeur 5 a déjà été utilisée et qu'elle correspond à la verticale, il considère que la valeur de la "3° coordonnée" doit être 10 ou 7. L'expérience a montré que la valeur 0 n'est pas adaptée.

((Olivier, Stéphane); Etat E14)

S: essaie d'abord avec 7, et si ça ne va pas, essaie 10... enfin, il faut essayer

O: si zéro, ça ne marche pas, il vaut mieux que ça change

S: aïe... aïe..., regarde

((Olivier, Stéphane); Etat E15)

S: oui... mets 10... ça peut être que 10

O: ça ira pas, .. il faut essayer d'autres choses

((Olivier, Stéphane); Etat E16)

S: impeccable

O: ça doit être 12.... attends, on va essayer

Dans ce passage, on assiste à deux positions différentes des deux élèves : Stéphane tient à ce que la valeur de la 3^o coordonnée fasse partie appartienne à l'ensemble des trois données numériques, les trois mesures des composants de l'escalier, en excluant la valeur 5 qui a déjà été utilisée, selon la direction verticale. Sa conception de la "3^o coordonnée" la relie donc nécessairement à l'une des deux directions principales horizontales de l'escalier représenté, d'une part, et à l'une des deux mesures de ses composants selon ces directions.... Par analogie à la séquence de construction des marches, son mode de repérage des contre-marches doit s'effectuer par rapport à une position liée à l'objet, et avec des valeurs-repères égales aux (ou calculables à partir des) mesures de l'objet.

Quant à la position d'Olivier, elle révèle un détachement des caractéristiques numériques de l'objet, au profit d'une approximation basée sur le contrôle perceptif, pour que la représentation de la contre-marche puisse être connexe à celles des deux marches précédente et suivante. Ce détachement au niveau numérique révèle un détachement au niveau géométrique : la nécessité que la position de la nouvelle facette soit repérée par rapport à une autre déjà construite est dépassée. Notons que ce détachement n'atteint pas, pourtant, la représentation par l'élève d'un référentiel fixe, détaché de l'objet, par rapport auquel doit être calculée intelligiblement la position de la nouvelle facette. Ce dernier constat a été confirmé par la suite de l'activité de ce binôme (voir leur construction de la deuxième contre-marche).

Les trois données numériques du problème ayant été essayées, Olivier a pu mettre en œuvre son idée d' "*essayer d'autres choses*", car il ne considère pas comme nécessaire cette correspondance entre la valeur de la "3^o coordonnée" et les données numériques; il fonde, en fait, ses hypothèses à propos de cette valeur sur le perçu : en interaction avec le résultat graphique obtenu en utilisant une valeur, il essaie d'approcher la bonne position de la facette en modifiant cette valeur de manière adéquate.

Derrière cette stratégie, transparait un premier détachement de l'objet comme référentiel par rapport auquel doit être réglée la position de la facette en cours de construction (la valeur-repère qu'il propose est indépendante des mesures de l'escalier). D'autre part, cette stratégie est basée sur une construction d'un sens d'orientation le long de la direction concernée, lié au sens de variations des valeurs successivement proposées. La valeur 12 qu'il propose est obtenue à partir de la position de la facette qu'implique la valeur 10, en lui ajoutant une

certaine valeur, correspondant au déplacement nécessaire dans un sens d'orientation supposé positif selon la direction normale, d'après les relations instaurées antérieurement entre les valeurs essayées et les positions relatives des facettes qui leur correspondent.

* Autres moments de changement de fenêtre :

Ils se sont présentés pour (David, Rachel), dans l'alternance de construction des marches et contre-marches. A chacun de ces moments, les élèves doivent déterminer deux caractéristiques : la direction selon laquelle sera calculée la 3^o coordonnée, et la valeur de cette dernière. Nous nous intéresserons, ici, à la première caractéristique, liée à la structuration des directions principales de l'espace du logiciel. La deuxième sera étudiée par la suite, comme étant liée aux relations géométrico-numériques de position, entre les composants, au sein d'une même fenêtre.

Nous avons analysé, dans le paragraphe précédent, la rupture de la liaison exclusive qu'avait établie ce binôme entre la "3^o coordonnée" et la direction verticale. Cette rupture s'est accompagnée par une construction de correspondances et de relations d'implication organisant le calcul de la 3^o coordonnée selon la direction adaptée, en fonction de la fenêtre de traitement courante :

"plan de la facette ---> direction liée à la 3^o coordonnée ---> calcul de la valeur de la 3^o coordonnée".

Or, l'activité des élèves a révélé, à plusieurs reprises, une certaine fragilité de ces relations, surtout celle qui lie "plan de la facette" et "direction". Nous pensons que cette fragilité est liée à sa confrontation à un obstacle provenant d'une conception erronée assez stable chez les élèves : essayons d'analyser cette conception à l'aide d'un exemple extrait de l'activité de (David, Rachel) :

Après une phase où l'alternance "marche, contre-marche" a fait évoluer vers des relations adéquates entre : fenêtre de traitement, direction et valeur liées à la "3^o coordonnée", la construction d'une nouvelle marche (la troisième) à partir de l'état E12 s'est heurtée à cet obstacle :

Cette construction intervient après celle des constructions successives des deux premières contre-marches, pour lesquelles les valeurs de la "3^o coordonnée" ont été calculées selon la direction normale. Pour désigner cette direction, ou la mesure le long de cette direction, les élèves utilisent le mot "profondeur".

((David, Rachel); Etat E12)

R: il nous faut une profondeur de....

D: 7

R: non, 14, parce que... attends... attends... il faut qu'on réfléchisse avant

D: 21 (probablement car la valeur pour la deuxième contre-marche était 14)

R: moi je mettrais... encore 14

D: pourquoi 14 ?

R: parce que, regarde, il va être à ce niveau là (elle indique le côté supérieur de la deuxième contre-marche)

D: mais si tu dis que ça part de là, là il faut rajouter encore 7 (il mime l'évolution de la construction de la marche jusqu'à l'autre arête)

R: non, il va commencer là ton dessin; là, il va finir... il finira après 7, mais il va commencer là

D: bon, alors 14

Un raisonnement analogue a été rencontré chez Olivier dans un exemple précédent, où il a proposé d'affecter la valeur zéro au niveau de la première contre-marche, car elle commence "tout en-bas..... tu es à zéro, là... on est tout en-bas, à zéro".

La conception erronée située derrière ce type de raisonnement est basée sur trois principes :

* le principe de la connexité et de la séquentialité dans la construction des composants de l'objet : une nouvelle contre-marche (resp. marche) doit commencer là où la marche (resp. contre-marche) précédente est terminée;

* Puisque le "problème des niveaux" a été interprété comme étant lié à la nécessité de fixer la position du point de départ d'une construction, la "3^o coordonnée", outil de résolution de ce problème, a pris la signification d'une coordonnée-repère du point de départ (coordonnée non unique, car calculable selon trois directions) plutôt que celle de niveau de traitement, ou coordonnée-repère du plan de la facette (unique, calculable selon la direction orthogonale à ce plan).

* Puisque la marche (resp. contre-marche) et la contre-marche (resp. marche) suivante ont une arête commune qui est l'arête de terminaison de la construction pour la première et celle de départ pour la deuxième, et puisque la valeur de la "3^o coordonnée" est identifiée au niveau de départ de la facette à construire, cette valeur ne sera autre que le niveau de l'arête à laquelle s'est terminée la construction précédente.

Derrière ces principes, se situe une représentation particulière de la tâche de construction de facettes avec le logiciel, basée sur une conception dynamique : La construction d'une facette est identifiée au "remplissage" d'une zone de l'espace jusque-là "vide", remplissage à

l'aide de la surface de la facette : "la marche doit aller de là à là". Par le premier "là", les élèves veulent désigner le niveau de l'arête de départ de la facette concernée; par le deuxième, ils veulent désigner l'arête opposée, là où la construction se terminera. Une telle conception dynamique dresse un obstacle car elle favorise, pour le calcul de la "3^e coordonnée", la direction de l'opération de remplissage; cette direction est celle qui est perpendiculaire à cette arête de départ et parallèle au plan de la facette. Dans ces conditions, cette direction n'est, en aucun cas, celle selon laquelle doit être défini le niveau du plan de la facette en question (valeur-repère selon l'orthogonale au plan de la facette). Nous appellerons cet obstacle "obstacle plan de la facette".

A part ses caractéristiques précédentes, cet obstacle est lié à une prégnance chez les élèves des valeurs-mesures, aux dépens des valeurs-repères : il semble que le calcul de la "3^e coordonnée" (ou de tout autre paramètre) doit s'effectuer le au sein d'une zone matérialisée de l'espace (le long d'une arête ou d'une direction de la surface d'une facette par exemple). Cette zone serait, de préférence, la surface de la facette en cours de construction, la première concernée par ce calcul.

Nous pensons que, dans l'exemple de (David, Rachel), c'est cette tendance qui a favorisé, comme direction selon laquelle s'effectuera le calcul, la direction normale aux dépens de la direction verticale. En effet, que ce soit dans la première direction ou dans la deuxième, le calcul de la "3^e coordonnée" doit s'effectuer en ajoutant les mesures de deux segments : celles de l'arête normale de chacune des deux marches pour la direction normale, celles de l'arête verticale de chacune des deux contre-marches pour la direction verticale. Perceptivement, d'après la représentation en 3D (Etat E12), les deux segments représentant la direction normale présentent une certaine continuité rassurante qui l'emporte sur l'impression de décalage et de discontinuité que présentent les arêtes verticales des deux contre-marches.

C'est le résultat graphique qui déstabilisera une telle conception, et qui sera le moteur de recherche d'une conception adaptée :

((David, Rachel); Etat E13)

R: non.... regarde où il nous l'a mis après

D: il l'a mis trop haut

R: (court silence) ben, oui... ah ! j'ai trouvé... c'était ce truc là et ce truc là qu'il fallait additionner (elle indique les côtés verticaux des deux contre-marches); D: comment ça ?

R: oui... attends, je t'explique....voilà... pour la 3^e coordonnée, de la vue de dessus, il fallait qu'on parte de là (elle indique la première marche du dessin en 3D), et qu'on calcule jusqu'où on voulait

aller (elle déplace son doigt verticalement sur le dessin jusqu'à l'arête supérieure de la deuxième contre-marche).. et nous, on est partis de là (première arête frontale de la première marche), et on est allés dans ce sens là (elle longe le côté de la première marche pour indiquer la direction de la profondeur)... alors évidemment, ça nous donnait...

D: alors, càd. au lieu de monter verticalement,...

R: au lieu de partir comme ça (verticalement), on est partis comme ça (le long de la direction normale)

D: ah oui, sur le côté, quoi

R: oui, et c'est pour ça que ça ne marchait pas

Dans ce passage, on peut toujours repérer une conception dynamique du rôle de la "3^o coordonnée" : c'est l'outil permettant de positionner une facette en cours de construction, en effectuant un déplacement dans l'espace selon une direction déterminée. D'autre part, on peut noter l'évolution vers des correspondances que Rachel établit entre : la fenêtre et la direction selon laquelle sera calculée la valeur de la 3^o coordonnée : *"pour la 3^o coordonnée, de la vue de dessus, il fallait qu'on parte de là et qu'on calcule jusqu'où on voulait aller "*. Nous pensons qu'une telle association de chaque fenêtre à une direction qui lui est normale révèle une évolution de la structuration de l'espace et de l'organisation des relations qui le régissent. d'autre part, elle révèle une représentation de plus en plus isotrope de l'espace, et un degré assez avancé de coordination de plus en plus élaborée entre les espaces des trois fenêtres.

phases de construction d'un ensemble de facettes dans chacune des fenêtres :

Dans ce paragraphe, nous analyserons l'évolution chez les élèves de la signification de "3^o coordonnée", en ce qui concerne les valeurs successives qu'il faut lui affecter pour positionner les facettes situées dans une même fenêtre, les unes par rapport aux autres (et dans quelques cas par rapport à un référentiel indépendant de l'objet).

Nous démontrerons que le jeu de cadres entre le géométrique, le numérique et le graphique sera un facteur moteur de cette évolution. Nous montrerons, d'autre part, que l'évolution de cette signification amènera une structuration de l'espace de l'objet (et dans quelques cas une structuration de l'espace tridimensionnel d'une fenêtre) par un système de référence sous-jacent à celui du logiciel.

* la "3° coordonnée" comme valeur permanente du "pas de déplacement" :

Une telle signification est liée à une certaine représentation du mode de fonctionnement du logiciel, de la commande "3° coordonnée" en particulier : c'est au niveau de la construction de la troisième marche que s'est révélée cette représentation :

((David, Rachel); Etat E8)

D: euh... il faut d'abord peut-être sélectionner la 3° coordonnée, non ?...[....]....

R: pourquoi ? je veux bien faire la 3° coordonnée, mais pourquoi ? explique-moi

D: parce que... on a commencé par ça l'autre fois

R: mais elle y est déjà, la 3° coordonnée

Explicitons la représentation que se fait Rachel du mode de fonctionnement :

- la valeur, déjà communiquée à la machine, de la 3° coordonnée est mémorisée et gardée le long de la construction. Cette supposition confirme l'évolution chez les élèves vers l'association d'une valeur déterminée de la 3° coordonnée à chaque fenêtre; en effet, malgré qu'elle considère que la valeur de la 3° coordonnée "*y est déjà*", elle avait introduit une autre valeur (7), au cours de la construction précédente de la contre-marche, au sein de la fenêtre de la vue de face.
- l'effet d'une affectation d'une valeur à la 3° coordonnée au sein d'une fenêtre ne s'arrête pas avec la fin de la construction courante, il reste valide pour chaque opération ultérieure au sein de cette fenêtre. Il semble que la "3° coordonnée" est davantage considérée comme un paramètre au problème d'emblée que comme un paramètre de construction d'une facette; on peut percevoir une conception anthropomorphique derrière cette idée : si on dit, une fois, à l'ordinateur que la hauteur de la contre-marche est 5, il doit pouvoir placer, à chaque construction, la nouvelle marche à une distance 5 de la précédente.

* la "3° coordonnée" comme valeur momentanée du "pas de déplacement"

Le résultat graphique détruit cette conception, en ce qui concerne le mode de fonctionnement du logiciel : "*il revient à la même place*". Notons que cette conception dynamique de "déplacement" liée à la "3° coordonnée" est toujours stable; c'est pour cela que nous parlons de "pas de déplacement" : tout se passe comme si, par la valeur affectée à "3° coordonnée", les élèves positionnent le traitement à un certain niveau où il devrait rester jusqu'à nouvel ordre; mais l'expérience leur montre qu' "*il revient à la même place*".

Les élèves découvrent que la valeur affectée est remise à zéro à la fin de chaque opération, mais ne remettent pas en question le sens de la "3° coordonnée" comme désignant le "pas

de déplacement", distance entre deux facettes parallèles successives. L'exemple du passage par (David, Rachel) de l'état E9 à l'état E10 est parlant.

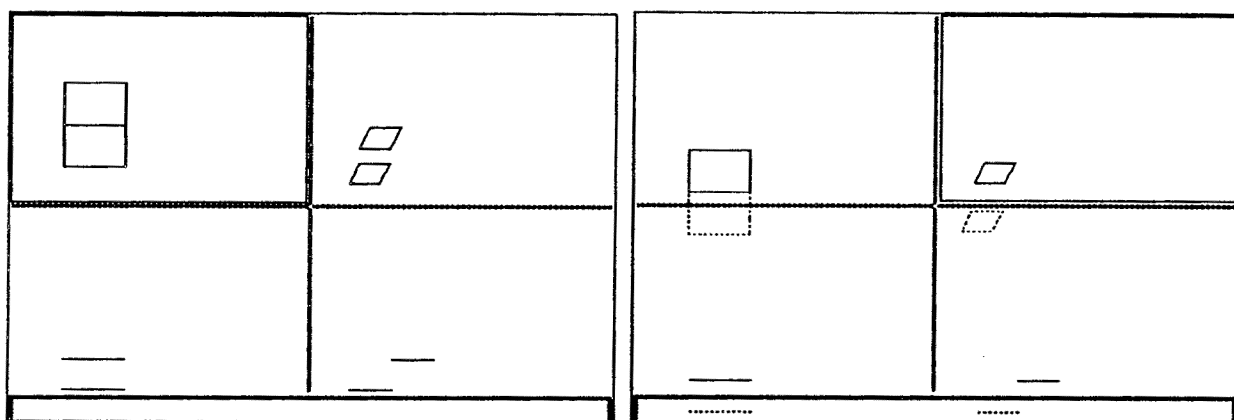
L'interprétation par les élèves de ce résultat montre la stabilité de cette signification. En effet, là non plus, ils ne la remettent pas en question; pour eux, la raison de l'anomalie graphique revient relève de la conception de construction comme un processus continu et procédant par connexité : c'est le principe assez stable de : "une nouvelle construction commence là où la précédente s'est terminée" :

((David, Rachel); Etat E10)

R: il faut qu'on refasse un... un truc... il faut qu'on mette 3° coordonnée 7, et qu'on refasse un petit rectangle au-dessus, pour faire le contre-marche.... on va essayer.... 3° coordonnée,... je vais demander 7, et je vais essayer de faire... encore un...

Cette nouvelle procédure proposée par Rachel confirme encore une fois la stabilité de la signification de la "3° coordonnée" comme "pas de déplacement". Non seulement elle n'est pas remise en question par le résultat graphique, mais c'est cette même signification qui sous-tend la nouvelle procédure, au sein de la fenêtre de la vue de face.

De même, le cas de (Eric, Serge) est intéressant : ayant utilisé la valeur 5 comme "3° coordonnée" pour la troisième marche, ils essaient de pallier le résultat graphique non désirable (Etat E4) en adoptant une stratégie qui montre la stabilité de signification de "pas" : après retour à l'état E3, ils essaient d'adapter la situation (au moins au niveau perceptif) à cette signification, pour la rendre valide à nouveau. Utilisant la possibilité qu'offre le logiciel de déplacer la fenêtre, ce qui amène un déplacement de l'espace qu'elle représente par rapport à son champ de perception, ils procèdent de manière à exclure le dessin de la première marche, du champ de perception de la fenêtre 3D. Ainsi, ils considèrent que la situation est remise à l'état E1, car "on ne voit qu'une marche". La même procédure ayant amené à l'état E4 est alors reprise, les élèves pensaient trouver un résultat différent.



Etat E3

Etat E3 après déplacement de la fenêtre

* la "3° coordonnée" comme valeur de la position par rapport à la première facette de la même fenêtre :

Essayant d'interpréter le résultat graphique, Eric a recours à la correspondance qu'il avait construite entre la "3° coordonnée" et la coordonnée qui reste constante (souvent nulle), au sein de la fenêtre :

((Eric, Serge); Etat E4, après avoir déplacé le dessin jusqu'à ce que le coin de la 2° marche soit au coin de la fenêtre de la vue de dessus)

E: z, il doit bouger, il bouge plus (il veut dire que z vaut zéro)

S: on est maintenant à quel niveau ? (Dans le but de déterminer le niveau valide, ils dessinent plusieurs rectangles dans la fenêtre de la vue de dessus dont quelques-uns sont connexes aux deux rectangles déjà existants)

E: au niveau du premier

S: mais pourquoi il fait ça ?... pourtant, on a remis 5

E: le z, il valait zéro, là... ah ! il fallait peut-être mettre 10

S: hum... ah oui, oui, c'est bon, je vois

Dans cette déduction, deux aspects de la commande "3° coordonnée" sont impliqués, qui amènent l'interprétation : l'aspect de son mode de fonctionnement et l'aspect de sa signification géométrique. En intégrant le mode de fonctionnement qu'ils viennent de découvrir ("à chaque fois il revient à zéro", dans le sens que la valeur de la "3° coordonnée" est remise à zéro à la fin de chaque opération), et en le conjuguant avec la conception

dynamique consistant à identifier la valeur de la "3^o coordonnée à une amplitude de déplacement à partir d'une position (souvent la dernière), les élèves décident que la valeur à introduire est 10, compte tenu du fait que la dernière position est située au niveau zéro.

Ce même langage, révélant la même conception dynamique, est retrouvé chez les trois binômes : il semble que cette conception est liée à un certain anthropomorphisme, identifiant l'ordinateur à un "bonhomme" auquel on demande de positionner les marches de l'escalier en lui communiquant sa distance à la dernière position qu'il occupait. A ce stade de l'activité, ils découvrent, d'après leur interaction avec les résultats graphiques, qu'à la fin de chaque opération ce bonhomme "redescend les marches de l'escalier" pour se positionner au niveau zéro de la première marche. c'est peut-être l'invraisemblance d'un tel scénario qui rendait aussi stable la signification précédente.

((David, Rachel); Etat E11)

R: et non, il fallait que je mette 14.. regarde, où il me fait la contre-marche... parce que lui, il est resté encore au même niveau... il compte toujours à partir du premier plan; alors il fallait lui mettre 14 . allez, hop.... on va essayer 14...

Cette nouvelle signification marque un saut important dans le processus de découverte et de construction du système de référence sous-jacent au logiciel :

- au moins dans la fenêtre de traitement courante, elle met en évidence un référentiel fixe et unique, par rapport auquel seront repérés tous les composants à construire dans cette fenêtre. Ce référentiel est lié à l'objet : au sein de la fenêtre de la vue de dessus, c'est la première marche (cas de (Olivier, Stéphane) et (Eric, Serge)), au sein de la fenêtre de la vue de face, c'est l'arête frontale de la première marche (cas de (David, Rachel)); notons que, dans ce cas cette signification est valable à cause du fait que ces élèves commencent leur construction au point (0,0,0);

- la mise en pratique de cette signification met en évidence un sens d'orientation à partir de ce référentiel fixe. Ce sens est mis en œuvre, à travers la relation géométrique/numérique, par l'addition comme opération pour calculer les nouvelles valeurs de la 3^o coordonnée, qui correspondront à des "déplacements" dans un sens déterminé des facettes à construire. Si cette correspondance entre sens d'orientation et variation numérique est assez naturelle au sein de la fenêtre de la vue de dessus (on monte, donc on ajoute), il n'en est pas de même au sein de la fenêtre de la vue de face où il faut la construire par l'observation de l'effet qu'exercent les variations numériques sur les résultats graphiques et leurs raisons géométriques. Cette signification provoque une telle construction de correspondances entre

ces cadres, car elle exige des modifications de la valeur de la 3^o coordonnée, alors que selon les significations précédentes cette valeur était constante.

- elle consolide la conception de la "3^o coordonnée" comme valeur-repère et élimine tout résidu de sa conception comme valeur-mesure. En effet, selon la signification précédente ("le pas de déplacement", signifiant néanmoins objectivement une valeur-repère car faisant référence à une distance entre deux composants non à une dimension d'un composant), les élèves peuvent se représenter l'opération de repérage comme étant une opération de mesure d'une dimension : au sein de la fenêtre de la vue de dessus par exemple, la valeur du "pas de déplacement" peut être calculée en mesurant le côté vertical de la contre-marche précédente. Avec la nouvelle signification, cette identification à une mesure perd sa pertinence, de par la nature de l'objet. Considérons l'exemple de la construction de la 4^o marche : les segments le long desquels l'élève peut se représenter l'opération de mesure (côtés verticaux des 3 contre-marches précédentes) ne sont pas alignés; pour imaginer l'opération de mesure, l'élève serait obligé de :

- soit effectuer mentalement des sauts dans l'espace (imaginer la mesure selon le côté de chacune des contre-marches, puis l'addition des 3 mesures); dans ce cas, la "3^o coordonnée" aurait perdu sa signification comme valeur-mesure, sinon acquis une signification de valeur-repère,
- soit effectuer la mesure le long de zones vides de l'espace, ce qui revient à renforcer la signification de valeur-repère de la "3^o coordonnée".

* la "3^o coordonnée" comme valeur de la position par rapport à un référentiel indépendant de l'objet :

Parmi les trois cas analysés, seul le binôme (Olivier, Stéphane) a donné un exemple d'évolution vers cette signification, allant de pair avec la construction mentale progressive d'éléments du système de référence régissant le logiciel, indépendamment de l'objet. La situation susceptible de provoquer une telle construction est celle où l'on veut construire un nouveau composant dans une fenêtre, alors que le premier sommet validé du premier composant construit avait des coordonnées initiales non nulles (précisément celle qui aura le statut de "3^o coordonnée" au sein de la fenêtre de traitement actuelle). Pour le cas présent, où seules les fenêtres de la vue de face et de la vue de dessus entrent en jeu, cette situation ne peut se présenter qu'au sein de la fenêtre de la vue de face; en effet, tous les élèves ont commencé leur construction au sein de la fenêtre de la vue de dessus (ils ont commencé par la première marche), ce qui a affecté, par défaut, la valeur initiale zéro à la 3^o coordonnée du point de départ, au sein de cette fenêtre.

En fait, cette situation ne s'est pas présentée aux deux autres binômes. Expliquons-en les raisons :

- pour (David, Rachel), ils ont commencé, comme ils l'ont toujours fait, leur construction par la validation du point (0,0,0) comme premier sommet de la première marche. De ce fait, la construction de la première contre-marche n'a pas posé de problème de décalage ou de non-connexité;

- Pour (Eric, Serge), la fin du temps consacré à la séance a coïncidé avec leurs débuts de construction au sein de la fenêtre de la vue de face, où "le problème des niveaux" s'est posé. Après avoir essayé de le résoudre par un procédé figuratif, la reconnaissance du problème comme concernant la valeur de la "3^o coordonnée" a émergé au moment où la cloche sonnait. Elle n'a pas été mise en œuvre.

Analysons donc le cas de (Olivier, Stéphane) :

Confrontés au "problème des niveaux" dès l'Etat E14, la signification qu'attribuaient les deux élèves à "3^o coordonnée" est déstabilisée. En effet, ils ont réussi à construire la première contre-marche, après avoir affecté à la "3^o coordonnée" plusieurs valeurs pour approcher sa bonne position, en contrôlant perceptivement sa connexité avec les deux premières marches. C'est la valeur 11.5 de la 3^o coordonnée qui était adaptée (procédure n°18, ayant donné lieu à l'état E18).

Or, l'ancienne signification était fondée sur deux relations R1 et R2; explicitons-les :

Selon cette signification, la valeur de la "3^o coordonnée" détermine la position de toute nouvelle contre-marche par rapport au bord de la première marche; sa valeur serait donc de 7 pour la première contre-marche (R1 : $v_0 = 7$). Pour chaque nouvelle contre-marche, il faut ajouter 7 à la valeur de la 3^o coordonnée de la contre-marche précédente : (R2 : $v_i = v_{i-1} + 7$). Ces deux relations acquièrent leur sens pour les élèves à travers la valeur 7 qui correspond à une donnée numérique du problème et à une caractéristique géométrique de l'objet.

Un conflit a été créé par la contradiction entre cette construction mentale et le résultat de l'expérience; en affectant à "3^o coordonnée" la valeur 7, la contre-marche n'est pas correctement positionnée : le résultat graphique est incompatible avec R1, au moins.

Or, pour les élèves, c'est la valeur 7 qui donne tout leur sens aux deux relations R1 et R2. Pour eux, cette valeur instaure, en fait, une relation entre les deux relations R1 et R2 : "la valeur numérique utilisée pour calculer les valeurs de "3° coordonnée" est la même dans les deux".

Ainsi, la déstabilisation de la valeur 7 n'a pas affecté la relation qu'elle assurait entre R1 et R2 : Comme R1 devient :

($v_0 = 11.5$), et à travers cette relation abstraite entre R1 et R2, il faut que R2 devienne :

($v_i = v_{i-1} + 11.5$).

Ainsi, pour la deuxième contre-marche, valeur de la 3° coordonnée = $11.5 + 11.5 = 23$; elle donne lieu à l'Etat E19.

((Olivier, Stéphane); Etat E19)

S: ... on va peut-être faire 21 et demi, maintenant

O: non, c'est largement au-dessous, tu marques.... 18

S: 18 et demi?

O: non, 19, on va voir

Cette phase de l'activité de ces deux élèves présente un exemple intéressant de la confrontation entre une tendance intellectuelle à rechercher des relations permettant de décider sans ambiguïtés des valeurs à affecter, et une tendance expérimentale, profitant des possibilités d'essais et d'approximations offertes par le logiciel pour obtenir le résultat désiré. Après destruction de la logique précédente, Stéphane essaie de trouver le moindre invariant qui permette d'instaurer des relations intelligibles entre les différentes valeurs successives de la 3° coordonnée. Pour le moment, la seule relation qu'il imagine est que ces valeurs sont des valeurs entières auxquelles on ajoute un demi. "ça marche de demi en demi, ça se trouve... ". Olivier préférerait essayer la valeur 19.

A l'expérience, la valeur 19 de la 3° coordonnée s'est avérée légèrement élevée. Les élèves décident d'essayer la valeur 18.5

((Olivier, Stéphane); Etat E19)

O: si c'est 18 et demi, il faudra savoir qu'il faudra rajouter 7 à chaque fois

S: ah ben, oui, 7... c'est normal, 7, la largeur c'est 7

O: oui..... appuie

S: tu trouves pas ça logique, toi?

O: appuie

S: oui... c'est normal qu'il faut rajouter 7.... ça va être de 7 en 7, parce que la longueur, c'est 7

O: oui

S: ... enfin, la largeur

On assiste, dans cet exemple, à une interaction riche et étroite entre les deux tendances évoquées plus haut : Avec l'idée de trouver une relation logique entre les données à communiquer à la machine pour réduire le coût d'une construction aléatoire, relation non encore trouvée, les élèves mènent des essais fondés sur des conceptions erronées ou insuffisantes ("*ça va de demi en demi*"). Ces essais mènent à des effets dont l'interprétation permet de trouver des relations spatiales pertinentes répondant au souci de construction d'une relation intelligible entre les éléments spatiaux. Ces relations seront éprouvées par l'expérience, et ainsi de suite...

A ce stade, c'est la relation abstraite entre R1 et R2 qui a été déstabilisée : les élèves acceptent que la valeur numérique ne soit pas la même dans les deux :

R1 : ($v_0 = 11.5$) et R2 : ($v_i = v_{i-1} + 7$).

La relation R2 reprend alors son sens comme assurant le "pas de déplacement" qu'il faut ajouter, à chaque étape, à la valeur précédente.

Toujours dans le souci de trouver la relation intelligible entre tous les éléments impliqués dans ce problème, les élèves ont même réussi à interpréter le sens de la relation R1, et à construire le pont entre cette relation numérique et son correspondant dans le cadre géométrique :

O: on a dû déjà regarder au départ à combien on était

S: ou commencer carrément à zéro... là je crois qu'on a compris.... on aurait dû même commencer par le coin là... à zéro... on aurait pas de problèmes

Exprimé en termes d'actions, et résultant d'un feed-back sur les constructions partielles précédentes, feed-back qui va loin pour atteindre la première construction (celle de la première marche), cet extrait de dialogue révèle l'acquisition par les élèves de toute la logique qui régit le fonctionnement du logiciel pour ce problème (et pour tous ceux du même type), une logique qu'ils formulent avec sûreté, révélant sa cohérence dans leur structure de représentations. Enfin, cet extrait révèle la transformation d'une règle d'action en un théorème en acte (distinction faite par N. Balacheff) au moins, si ce n'est une construction mentale et une coordination entre deux systèmes de repérage plans (ceux des fenêtres de la vue de dessus et de la vue de face) pour aboutir à une représentation d'un certain repérage à trois dimensions.

II.7. Bilan et conclusion :

Aux trois niveaux d'analyse que nous avons adoptés, cette situation nous a procuré, à travers la conduite des élèves, des informations qui nous ont aidée à dégager les processus à travers lesquels leur construction de connaissances, dans le cadre du logiciel utilisé, s'est poursuivie. Cette construction relève des différents aspects que nous avons adoptés pour l'analyse des situations de cette séquence avec Mac Space : la structuration de l'espace du logiciel en rapport avec celui de l'objet, la poursuite de la construction du mode de fonctionnement et, surtout, la construction du système de référence régissant les relations spatiales au sein de l'espace du logiciel.

Le début de l'activité de tous les élèves nous présente un exemple d'adaptation, à la situation actuelle, de procédures ayant été utilisées avec réussite dans d'autres situations (la procédure "Prisme"). Le sous-but auquel répond cette procédure révèle la sélectivité dans la représentation que se font les élèves des effets d'une opération particulière : "Prisme" est, en fait, utilisée pour pallier le "problème des niveaux" à travers la solution maintenant connue du "problème des étages". Ses autres effets sont ignorés (surtout le résultat graphique qu'elle produit).

Quant à la structuration de l'espace du logiciel, l'activité des élèves (surtout à la fin de la séance) montre qu'il y a eu évolution vers une "mise en ordre", et une organisation de cet espace à travers la construction des facettes, et la conception sous-jacente à une telle construction : par exemple, positionner le point de départ de la construction d'une nouvelle marche de l'escalier correspond à effectuer deux déplacements dans l'espace, à partir du point de départ de la marche précédente : un déplacement "en hauteur", qui sera réalisé à travers la "3^o coordonnée", donc de manière statique, et un déplacement "en profondeur" qui sera exprimé au sein de la fenêtre de traitement (celle de la vue de dessus), donc de manière dynamique.

Une telle structuration est fondée, certes, sur une représentation non-isotrope de l'espace, au niveau de la construction d'une facette particulière, car la communication à la machine des informations concernant sa position ne se fait pas de manière analogue pour toutes ces informations. Mais, d'un point de vue plus global, cette situation favorise une représentation isotrope de l'espace, dans le sens qu'un traitement parfaitement analogue sera fait au sein des deux fenêtres des vues de dessus et de face. Au moins, cette situation marque un pas vers l'isotropie, par rapport aux situations précédentes. C'est avec la séance "Escaliers2" que cette représentation isotrope de l'espace sera encore plus élaborée : des

facettes composantes seront à construire, selon un même procédé, dans chacune des trois fenêtres de traitement.

Cette structuration et organisation de l'espace du logiciel est parvenue suite à un processus évolutif, dont les moteurs ont été :

- * la nature de la tâche
- * la structure de l'objet à représenter,
- * l'interaction avec le logiciel et la dialectique attentes / résultats,
- * l'interaction entre les élèves travaillant au sein d'un même binôme.

Une phase importante de ce processus est celle de la problématisation de la situation, et de la centration du problème autour du "problème des niveaux". De par les choix particuliers (surtout celui de l'objet à représenter), cette situation est beaucoup moins ouverte que la situation précédente : le problème s'est assez rapidement décomposé en sous-problèmes, centrés autour d'une question : quel est le moyen pour déterminer la position d'une facette à construire, par rapport à la configuration déjà construite ?

Suite à cette question, apparue et formulée de différentes manières chez les élèves, s'est engagée une recherche de réponse parmi les fonctionnalités du logiciel. Nous avons noté une évolution assez homogène de ce processus de recherche chez tous les élèves, et une concentration de la recherche autour d'un menu particulier ("Curseur") et de commandes particulières ("coord. absolues", "coord. relatives", "3° coordonnée"), concentration que déstabilisaient, à des moments, les essais qui ne donnaient pas d'effet perceptible à l'écran. C'est en fonction de cette problématisation de la situation que les informations mises à discussion au cours du débat collectif suivi de l'intervention du maître ont pris leur sens.

Cette situation a aussi fourni à l'analyse des phénomènes correspondants à l'évolution de la construction, par les élèves, du système de référence qui régit l'espace du logiciel.

Un aspect de cette construction réside dans la poursuite de la construction des systèmes de repérage plan régissant, au sein de chaque fenêtre, le plan de traitement. Alors que les situations précédentes permettaient que l'activité se situe entièrement dans l'une des fenêtres (souvent la vue de dessus), la situation présente oblige la confrontation de l'élève à au moins deux fenêtres. Ce fait posera nécessairement, surtout pour les binômes qui ne l'ont pas encore confrontée, la signification de la coordonnée z, et sa relation avec les deux autres coordonnées.

D'autre part, une construction plus élaborée d'autres aspects du système de référence s'est avérée nécessaire à la résolution du problème posé : une construction accompagnée d'une coordination des systèmes bidimensionnels de repérage des fenêtres, ou au moins de chacun de ces systèmes avec la direction normale à la fenêtre correspondante. Nous avons repéré une relation d'interaction et de concomitance entre une telle construction et l'évolution de la signification de "3° coordonnée". Récapitulons ces différentes significations :

- la "3° coordonnée" comme la "3° mesure" : cette signification a surtout guidé l'activité de quelques élèves en amont de la phase collective (elle est sous-jacente au sous-but des élèves lors du choix de cette commande); elle révèle la prégnance de l'aspect "mesure" et le souci essentiel des élèves de communiquer à la machine les données numériques du problème, ayant le statut des dimensions des composants de l'objet;

- la "3° coordonnée" comme valeur-repère servant à situer le point de départ de la construction d'une facette. Cette signification est apparue chez un seul binôme, (Olivier, Stéphane), au cours de leur formulation du problème posé : "le problème des niveaux". Pour eux, ce problème se pose "car il faut "dire" à l'ordinateur où on veut mettre la marche ". Pour ce faire, ils ont sélectionné "3° coordonnée". C'était dans la phase de recherche en amont de la phase collective.

- la "3° coordonnée" comme valeur permanente du "pas de déplacement"; elle est conçue comme une valeur d'un paramètre du problème que l'on communique à l'ordinateur une fois pour toutes. Cette valeur est celle du déplacement qu'il faut effectuer pour passer d'une facette (marche ou contre-marche) à la suivante, de la même famille.

- la "3° coordonnée" comme valeur momentanée du "pas de déplacement"; cette évolution est due au retour au niveau nul de traitement, après la construction précédente. Les élèves prennent conscience du fait que la machine ne garde pas la valeur qu'ils lui ont communiquée, mais maintiennent sa signification comme "pas de déplacement".

- la "3° coordonnée" comme valeur réglant la position courante, par rapport à la première facette de la même fenêtre; cette signification est liée à l'attribution à cette facette du statut de référentiel unique, relatif car lié à l'objet.

- la "3° coordonnée" comme valeur réglant la position courante, par rapport à un référentiel indépendant de l'objet; cette signification n'est apparue que chez un binôme, (Olivier, Stéphane), pour des raisons, on l'a déjà vu, liées à leur choix (ou non-choix) du point de

départ de la construction, et à l'avancement de leur activité qui les a amenés à affronter le "problème des niveaux" lors du passage d'une fenêtre de traitement à une autre (de celle de la vue de dessus à celle de la vue de face). Cette signification s'est accompagnée de la construction mentale de ce référentiel, et même de sa position par rapport au point de départ de la construction.

L'évolution à travers ces significations s'est avérée liée à des détachements successifs, et des ruptures des relations exclusives de la "3^o coordonnée" :

- * à une fenêtre particulière (celle de la vue de dessus),
- * à une direction particulière (celle de verticale),
- * à une valeur particulière (celle de la hauteur de la contre-marche).

Cette évolution a donc été liée à une abstraction et une généralisation successives du sens de "3^o coordonnée", et de son statut par rapport à l'espace de chacune des fenêtres, et par rapport à l'espace du logiciel.

D'autre part, l'analyse de l'activité des élèves nous a permis de dégager deux obstacles qui ont donné lieu à des procédures fausses :

- obstacle1 : fondé sur la connexité et la continuité comme condition nécessaire à la construction. Il part d'une conception erronée postulant qu'une nouvelle construction commence là où s'est terminée la précédente (voir (David, Rachel)). C'est contre cet obstacle que s'est construite la signification de la "3^o coordonnée" comme réglant la position courante par rapport à la première facette. Une telle signification a été construite grâce au dépassement de la signification assez stable comme "pas de déplacement", renforcée par cette conception erronée.

C'est l'interaction avec le logiciel, et l'interprétation par les élèves des résultats graphiques obtenus, conjuguées avec l'interaction entre les élèves au sein du binôme, qui ont favorisé un tel dépassement. Signalons, finalement, que le dépassement de cet obstacle marque un pas vers une conception plus analytique de l'objet, qui le décompose en ses composants, et qui rapporte chacun de ces composants à un référentiel unique (même s'il est encore lié à l'objet).

- obstacle2 : c'est l'obstacle que nous avons nommé "plan de la facette". Il révèle une conception particulière de la construction d'une facette comme un recouvrement d'une zone plane de l'espace. Un tel recouvrement est déterminé par son niveau de départ et son niveau d'arrivée "de là à là". Il révèle aussi une prégnance encore persistante de la signification de la "3^o coordonnée" par la direction verticale : l'utilisation de cette conception erronée a

souvent été repérée pour des facettes frontales (des contre-marches); la valeur de la "3^o coordonnée" a été prise comme étant le niveau, en hauteur, de l'arête de départ de la contre-marche correspondante (voir (Eric, Serge)). Comme nous l'avons montré au cours de l'analyse, cet obstacle est lié à la difficulté de concevoir des mesures le long de zones "vides" de l'espace, qui est une nécessité pour concevoir des valeurs-repères.

Nous terminons ce bilan-conclusion en signalant les décalages qui existent entre les binômes, en ce qui concerne le degré de réalisation de leur tâche : (Olivier, Stéphane) ont terminé la construction de l'escalier, (Eric, Serge) ont terminé la construction des marches, et avaient commencé une construction fautive de la première contre-marche, (David, Rachel) avaient construit deux marches et deux contre-marches, et confrontaient un problème de non-connexité relevant du "problème des niveaux". Nous considérons que ces décalages sont à l'origine de décalages dans le degré d'élaboration de la signification de "3^o coordonnée", de la construction du système de référence du logiciel et de la structuration de son espace.

III. Analyse de l'activité "Escaliers 2"

Comme nous l'avons précisé dans l'exposé des objectifs des deux tâches "Escaliers1" et "Escaliers2" (cf.§ I.4), le passage de l'une à l'autre vise à mettre en évidence des phénomènes et comportements des élèves, relatifs à deux aspects :

- * la relation entre l'espace de l'objet (à travers sa représentation graphique) et l'espace absolu (à travers l'espace du logiciel);
- * l'enjeu de la perception comme moyen de contrôle, et sa relation avec les autres moyens de contrôle possibles, surtout celui par le système de référence dont les élèves ont construit, nous l'avons vu, une certaine connaissance.

Dans l'analyse rapide suivante de leur activité, nous étudierons l'évolution, qui se poursuivra, de la construction par les élèves du système de référence du logiciel, l'impact sur ce processus de la modification de la position de l'objet, de même que le rôle particulier que jouent les moyens de contrôle dans cette situation.

III.1. Espace relatif et espace absolu :

(Pour la suite des procédures utilisées par chaque binôme et les états d'écran obtenus, voir l'annexe)

C'est à travers le changement de position de l'objet à représenter que cette distinction est apparue, surtout avec les conditions d'interaction d'interaction entre les élèves au sein des binômes : ils doivent se mettre d'accord, pour s'entendre, sur un langage commun qui, au début de la séance, n'est pas nécessairement le même; ce langage porte surtout sur des termes comme : "la face", "le côté", "la vue de face", "la vue de côté", "longueur", "largeur", "profondeur"... tout le long, des dialogues comme le suivant cherchaient une certaine convergence dans les termes utilisés par chacun des élèves, au sein d'un binôme où l'un d'eux fait référence à l'espace de la configuration représentée et l'autre à l'espace du logiciel.

(Olivier, Stéphane), à un moment de changement de fenêtre :

S: On est à la vue de face.

O: De côté...on est à la vue de côté.

S: Disons, on est à la vue de face...parce que la vue de côté, maintenant, c'est la vue de face... alors... la vue de face,...le niveau qu'on va choisir, c'est la profondeur, donc, ce qu'il faut, c'est choisir le niveau... c'est la profondeur qu'il faut choisir, donc, sur la vue d'ici (il montre la vue de dessus)...

O: La profondeur, ben, alors, c'est zéro !

S: Non, la profondeur c'est pas la profondeur, maintenant c'est la longueur...hum ? C'est la profondeur qu'il faut choisir, alors, c'est

Au niveau de l'action, et du rapport des élèves au système de référence du logiciel, ce changement de position a donné lieu à une rupture avec un certain automatisme qui a dû s'installer au cours de l'activité précédente comme facteur facilitateur de l'action, automatisme construit à la base de relations vraies pour la position précédente de l'objet, qui ne le sont plus pour la position actuelle. Chez le binôme (Eric, Richard), nous avons pu repérer une relation qui s'est instaurée entre les dimensions de l'escalier dans un certain ordre [10,7,5] et les valeurs des coordonnées dans un ordre précis : (x,y,z).

((Eric, Richard)... au début)

E: Bon...vue de côté...non, vue de dessus...attends...

R: 10, 7, 5.

E: Oui...vas-y...va dans le coin, si c'est possible...mets-toi là.

R: Tu veux le faire où ?

E: Voilà...de...10 et 7...x 10, y 7...

R: x...10,...

Une telle relation, ayant probablement été construite au cours de l'activité précédente pour accélérer la construction, fonctionnera comme un obstacle dans les conditions

actuelles. Elle est basée sur des conceptions erronées concernant la signification des coordonnées.

D'après la suite des productions graphiques de ce binôme (cf. l'annexe), on peut noter une certaine stabilité de cette relation, d'après, la persistance pendant longtemps d'une position fautive de la marche, au sein de la fenêtre de la vue de dessus. Cette relation est aussi liée à une autre que les élèves ont adoptée pour choisir, parmi les données numériques du problème, les deux valeurs numériques pertinentes au sein de chacune des fenêtres :

(E.R.; Etat E3)

E: Alors... c'est x qui est zéro...alors, là, je fais la première,... mais...pas la marche, le contre-marche ...attends ...10...non, y était à 7, non ?

R: Je ne sais plus (ils regardent le croquis au tableau).

L'activité se déroule au sein de la fenêtre de la vue de côté. Les élèves se basent sur la coordonnée par défaut nulle pour décider que les valeurs des deux autres sont celles à affecter aux dimensions de la facette en cours de construction. Ainsi, les deux relations se résument par :

1) $x=10, y=7, z=5$

2) dans la fenêtre de la vue de côté, $x=0$; donc, les deux valeurs numériques pertinentes au sein de cette fenêtre sont 7 et 5.

C'est ainsi qu'on peut interpréter leur procédure n°4, qui a donné lieu à une contre-marche [7,5]. C'est la confrontation aux contraintes du logiciel et à celles auxquelles doivent obéir les composants de l'objet (mesure, position, connexité) que ces relations seront dépassées, ce dépassement ayant été favorisé par l'interaction entre les deux élèves :

((Eric, Richard); Etat E4)

R: mais nous, on veut la marche, pas la contre-marche... il fallait peut-être pas commencer par cette face (il veut parler de la fenêtre de la vue de côté)

E: ben...On commence par le contre-marche, parce qu'on sait pas par quoi commencer vraiment....()...

R: Oui... (silence) c'est toujours 10 et 7 dans la vue de côté, non ?... c'est le contre-marche, alors... 5 ?...5 et...5 et 7 ?...non ?...(court silence)...10...et 5.

E: C'est ça...

C'est donc cette contradiction, amenée par le raisonnement de Richard, qui a remis en question les deux relations automatiques évoquées ci-dessus : dans la fenêtre de la vue de côté, et d'après la position de l'escalier, c'est la contre-marche qui sera construite (relations projectives); or les dimensions de la contre-marche sont : 10 et 5, ce qui est contradictoire avec ce qu'induisent les deux relations : que dans la fenêtre de la vue de côté, les deux valeurs numériques pertinentes sont 7 et 5. Une telle contradiction a incité les élèves à resituer leur raisonnement dans le cadre des correspondances

Malgré cette contradiction, nous avons noté chez Eric une persistance des relations entre les coordonnées et les valeurs numériques qui leur ont été affectées au cours de la séance précédente, ce qui a donné lieu aux résultats graphiques jusqu'à Etat E10 (cf. l'annexe), à la désapprobation de Richard. Finalement, l'allure de plus en plus étrange de l'escalier dessiné, et l'interaction entre les deux élèves, où Richard soutenait son point de vue, a incité les élèves à comparer leur dessin au croquis dessiné au tableau, et à reconstruire les correspondances entre les trois directions principales et l'ordre de grandeur des trois données numériques.

((Eric, Richard); Etat E10)

R: il faut le remettre là, cette foi-ci...on va voir ce que ça donne.

E: Oui, d'accord, on fait là...bon, 10 et 7 alors... $x = 10$,...

R: Non, $x = 7$.

E: Non, $x = 10$... ah oui, il a tourné... $x=7$ et $y=10$

Un autre automatisme qui s'est installé s'est manifesté chez les deux autres binômes, concernant les relations projectives, représentées par les positions relatives d'un composant dans l'espace de la fenêtre correspondante.

((Olivier, Stéphane), au début)

S: 10 en haut...tac...non, dans l'autre sens.

O: Non...

S: T'as 7 et 10 au lieu de 10 et 7... (court silence) ah oui, t'as raison peut-être.

O: Non, c'est bon, comme ça.

C'est l'étape suivante qui incitera les deux élèves à une remise en question de cette position, et au retour de Stéphane à sa première idée : en effet, avec une action aussi basée sur un automatisme qui fonctionnait dans la situation précédente, Olivier avait choisi la fenêtre de la vue de face, avec l'intention de construire la contre-marche

((Olivier, Stéphane); Etat E1)

O: La vue de face...(court silence), "curseur", zéro, elle doit être à zéro, la troisième coordonnée...

S: Regarde où tu es là..... ah mais... c'est pas ce qu'on veut, c'est pas la contre-marche... il faut faire la contre-marche d'abord

Le résultat graphique de la procédure n°2 (état E2) a été interprété par Stéphane comme représentant une bordure, ce qui n'était pas leur but. C'est ainsi qu'ils décident de reprendre la construction dès le début.

((Olivier, Stéphane); Etat E2)

O: Ben, non...sur la vue de face, on devrait pas avoir ça.

S: Ben, oui...je vois pourquoi... l'escalier, il est de côté.

O: Donc, il faut prendre la vue de côté.

S: Exactement.

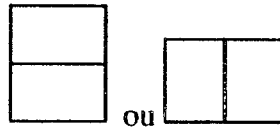
O: Ca va tout changer, quoi.

Un phénomène analogue est apparu chez (David, Rachel) qui, eux, ont bien modifié la position de la marche dans la fenêtre de la vue de dessus (d'après une prise de conscience basée sur des relations projectives), mais qui ont choisi, selon le même automatisme, la fenêtre de la vue de face pour construire la contre-marche (procédure n°2).

La structuration de l'espace du logiciel s'est ainsi poursuivie, au cours de cette activité, qui impose aux élèves de se détacher de l'espace de l'objet, et de concevoir ses composants au sein de l'espace du logiciel. Ce détachement est lié à un autre, d'une autre nature : c'est le détachement des habitudes et automatismes facilitateurs, acquis au cours de la séance précédente, automatismes qui, par leur aspect économique et rassurant, masqueraient les relations spatiales nécessaires au processus de structuration de l'espace. Dans la situation présente, l'application de ces automatismes aboutit à des résultats graphiques non compatibles avec le but à atteindre, ce qui oblige les élèves à une rupture avec ces habitudes, et à une reconstruction des relations spatiales à respecter pour aboutir au résultat désiré.

Un moment important dans ce processus de remise en question de automatismes est celui situé entre la fin de la construction des "marches et contre-marches" et le début de la construction des bordures : en effet, après avoir fini la première étape, les habitudes suivantes peuvent s'être installées, pour la construction au sein d'une même fenêtre :

* pour passer de la construction d'une facette à la facette suivante, introduire la nouvelle valeur de la 3^o coordonnée, puis construire une facette adjacente à la dernière, en contrôlant les deux coordonnées dynamiques;



* pour calculer la nouvelle valeur de la 3^o coordonnée, il faut ajouter à la dernière la valeur du "pas de déplacement".

Ces relations relèvent des relations des composants entre eux, et ne dépendent que de l'espace de l'objet.

Pour le cas des bordures, de nouvelles relations sont à respecter, qui amèneront une rupture de ces habitudes, pour la reconstruction de relations basées sur les relations spatiales au sein de l'espace du logiciel, avant l'instauration de relations entre les composants (les rectangles de bordure d'une même balustrade, ou ceux correspondants des deux balustrades).

((David, Rachel); Etat E10)

R: Si...t'es en vue de face, t'es toujours en niveau zéro...quand il faudra qu'on change, c'est quand il faudra faire celle de derrière...(silence), regarde, quand t'as une vitre comme ça, que tu sois à n'importe quelle hauteur, tu restes toujours...contre la vitre

Rachel s'oppose à la proposition de David de modifier la 3^o coordonnée. Elle exprime, par un exemple, que les bordures d'une même balustrade sont situés au même niveau. A part sa prise de conscience de la modification des relations spatiales entre les composants à construire, cette réplique révèle chez elle une élaboration et une stabilité du sens de "niveau" comme valeur-repère, qui se mesure, ou se calcule, selon la direction orthogonale au plan de la facette. Il faut signaler que cette signification, quoiqu'elle a été mise en œuvre par tous les élèves au cours de leur activité, s'est révélée assez fragile, car elle est souvent contrée par l'obstacle du "plan de la facette". Dans la proposition de David, par exemple, la valeur de la 3^o coordonnée qu'il a proposé était 5, hauteur du bord inférieur de la bordure à construire; ce choix de la valeur révèle la conception de recouvrement dont nous avons déjà parlé : la bordure doit "partir" de la hauteur 5, du niveau 5.

Cette constance de la valeur de la 3^o coordonnée (qui est nulle à cause du choix que fait systématiquement ce binôme du point de départ de la construction : (0,0,0)) a été acquise et utilisée par David pour la construction des quatre bordures de la balustrade "devant". Pour la première bordure de la balustrade "arrière", affectation de la valeur 10 à la 3^o coordonnée,

ce qui a donné lieu à l'Etat E14. La deuxième bordure a ensuite été construite sans modification de la valeur de la 3^o coordonnée, selon ce qui a été fait pour la première balustrade (où la valeur était nulle par défaut).

(David, Rachel); Etat E15)

R: Eh ! Qu'est-ce qu'il me fait là ? Il me fait plus rien ?...il me fait plus rien...regarde...derrière, on a l'impression qu'il fait plus rien.

D: Ben, oui...on voit plus rien, là.

R: dis, T'as pas changé la troisième coordonnée ?

D: Ben... non ...je ne vais pas la changer à chaque fois quand même.

R: peut-être que si... peut-être qu'il faut la mettre à chaque fois... essaie quand même (ils ré-affectent la valeur 10 à la 3^o coordonnée, d'où l'état E16)

R: Ben, si, hein ? Parce qu'elle revient à zéro à chaque fois

Un phénomène analogue a été repéré chez (Olivier, Stéphane), à ce moment de changement de relations spatiales entre les composants : après des essais, au cours desquels ont été affectées à la 3^o coordonnée des valeurs (choisies parmi les données numériques du problème), les discussions entre les deux partenaires a amené l'un d'eux à une supposition vague que "ça doit être zéro " :

((Olivier, Stéphane); Etat E14)

O: Mais ça ne va pas...c'est sur celle-là, c'est obligé...on laisse zéro, on va voir ce que ça fait, ok ?...d'accord ?

S: Attends, il faut que je réfléchisse...en fait, ce qu'on veut, c'est modifier les coordonnées ... deux coordonnées

Après un autre essai non réussi, la proposition d'Olivier a été mise en œuvre, donnant lieu à l'état E16.

((Olivier, Stéphane); Etat E16)

O: Avec zéro, ça marche.

S: J'ai rien compris...t'es sûr ? T'as mis zéro ?

O: Oui, je n'ai rien touché.

S: on est sur quelle vue là ?

O: La vue de face.

S: Ah oui, le 5, ça ne marche pas.

O: Pourquoi ?

S: Mais oui, ça doit pas changer.

O: pourquoi ?

S: Puisque c'est toujours sur le même niveau qu'on doit travailler...

O: Ah oui.... c'est vrai, ils doivent être au même niveau

S: Par rapport à la vue de face, on est toujours au même niveau.

O: Oui, oui, je vois

S: Ca va être pareil pour l'autre bord, on va changer le niveau une fois pour toutes.

Ainsi, il y a eu chez les élèves une prise de conscience de la structure de l'espace de l'escalier, et des relations qui existent, au sein de l'espace de chacune des fenêtres, entre les composants correspondants. Au moment de la construction de la balustrade "derrière" :

((Olivier, Stéphane); Etat E19)

S: il faut faire la balustrade de l'autre côté aussi.

O: De l'autre côté qu'est-ce qu'on va faire ?

S: On doit changer une seule fois...il faudra mettre 10.

O: Ah bon ? Il faudra tout le temps mettre 10 ?

S: Non, il faudra mettre 10, et...oui, oui, t'as raison, il faut toujours mettre 10

Dans cet extrait, on peut bien toucher à l'influence de l'interaction entre les deux partenaires sur la prise de décisions, et surtout sur la prise de conscience de quelques relations et modes de fonctionnement non pris en compte, ou implicites dans les formulations de ces relations. Par analogie à ce qu'ils ont fait pour la balustrade "devant", Stéphane propose de "*changer une seule fois*", pour la construction des bordures de cette balustrade. Nous pensons que son expression ne prend pas en compte le mode de fonctionnement du logiciel par rapport à cette opération, précisément du fait que la valeur de la 3^e coordonnée est annulée après la fin de chaque opération. En fait, son souci était surtout d'exprimer la relation qui existe entre les bordures de cette balustrade, le fait qu'elles sont toutes situées au même niveau. Son expression se situe donc au niveau relationnel. Quant au niveau actionnel et pratique de mise en œuvre de cette relation, il a été pris en charge par Olivier : "*il faudra tout le temps mettre 10 ?*", question qui a fait prendre conscience à Stéphane de cet aspect pratique du mode de fonctionnement.

((Olivier, Stéphane); Etat E20)

S: T'as fait 10 ?...voilà...non, tu refais le rectangle.

En fait, aussi par analogie aux constructions antérieures des marches et contre-marches, Olivier avait commencé par la construction, au sein de la fenêtre de la vue de face, d'un rectangle adjacent à la première bordure de la balustrade "devant" (en partant de son coin

"gauche, supérieur"). Le résultat graphique et la réplique de Stéphane lui font prendre conscience de la relation de superposition des deux représentations des bordures "devant" et "derrière".

Terminons ce paragraphe en signalant que la confrontation à ces situations de rupture d'automatismes n'a pas été complète pour (Eric, Richard), qui n'ont pas pu arriver à ce moment de changement de relations, lié à la construction des bordures (faute de temps, à cause de leurs productions fausses au début de l'activité).

III.2. Moyens de contrôle :

(Pour la suite des procédures utilisées par chaque binôme et les états d'écran obtenus, voir l'annexe)

Comme nous l'avons avancé dans l'analyse a priori de cette tâche, un des objectifs de la situation présente est de poser l'enjeu de la perception, comme moyen de contrôle qui, parfois, peut se baser sur ce qu'on peut appeler l' "intuition", et qui peut masquer des relations géométriques. Dans la tâche présente, nous avons fait l'hypothèse que les élèves auraient, au cours des activités précédentes, suffisamment mené une construction du système de référence du logiciel, qu'ils pourront contrôler leur activité par des coordonnées, des mesures, des relations analytiques entre les différents composants de l'objet d'une part, et entre ces composants et le système de repérage régissant l'espace du logiciel, d'autre part. Encore faut-il que le moyen intuitif et figuratif de contrôle soit dévalué.

Pour les premières étapes de l'activité, c'est la perception qui a été le moyen de contrôle privilégié, avant qu'elle ne soit dévaluée par l'abondance des composants, et par la position particulière de l'escalier qui donne lieu à des enchevêtrements et des coïncidences trompeuses. Pour illustrer l'adoption et les mécanismes de fonctionnement de ce moyen de contrôle, nous prendrons l'exemple de (Eric, Richard) :

Au cours de cette séance, Eric et Richard ont affronté une situation analogue à celle affrontée par Olivier et Stéphane au cours de la situation précédente, situation qui les a amenés à la construction de la signification de la "3^e coordonnée" comme valeur réglant la position d'une facette par rapport à un référentiel indépendant de l'objet. Il faut noter que cette construction n'a pas été aussi élaborée et explicitée chez (Eric, Richard), mais ce qui nous intéresse est de toucher au rôle de la perception dans la découverte du "théorème en acte" qui a guidé leur activité : ce rôle se manifeste surtout dans le va-et-vient entre l'expérience et les résultats graphiques d'une part, et la construction intellectuelle dans le

cadre numérique et analytique, pour anticiper les valeurs à attribuer aux paramètres, d'autre part.

((Eric, Richard); Etat E14)

E: on fait.... euh.... ah non, on reste en zéro...

R: On reste en zéro ?

E: Attends...qu'on se trompe pas, cette fois-ci.

R: Pourquoi on reste en zéro ?

E: Normalement, on reste en zéro...eh non, parce qu'on va partir là (il indique le bord de la marche où doit commencer la contre-marche) cette fois-ci, donc, il faut...

R: On va voir.

E: Non, non ça va être faux, j'en suis sûr...remets ton curseur...il faut qu'on soit en...

R: 10.

E: C'est combien là ?

R: 10....euh...7.

E: 7 ? T'es sûr ?

R: Oui.

E: Alors 7...c'est ça ?...je crois que c'est ça... je crois que c'est ça...j'ai un doute, là, maintenant.

Ils décident d'affecter la valeur 7, d'où leur procédure n°15, ayant donné lieu à l'Etat E15. Ne prenant pas conscience des coordonnées initiales non nulles du premier point de départ de la construction (ce que nous n'espérions pas), les élèves ont bien affecté à la "3° coordonnée" la valeur 7, largeur de la marche (procédure n°15, état E15). C'est le résultat graphique qui révélera l'erreur d'un tel choix; le contrôle est perceptif. Les élèves ne réussissent pas à interpréter les raisons de cette anomalie; ils essaient la valeur 10 (procédure n°16), car c'est l'autre donnée numérique du problème, à part la "hauteur" qui est écartée (elle a d'ailleurs déjà servi à calculer les valeurs de la 3° coordonnée pour les marches).

Par une bonne (ou mauvaise) coïncidence, la valeur 10 aboutit à un résultat graphique adapté (il se trouve que le point de départ avec lequel les élèves ont commencé leur construction dans la fenêtre de la vue de dessus avait une coordonnée initiale $x=3$). Encore par un contrôle perceptif, les élèves déduisent que la valeur 10 est la bonne, sans pouvoir interpréter ce résultat intellectuellement, selon un système cohérent; contrairement au choix de la valeur 7 qui était basé sur une logique cohérente, la valeur 10 est adoptée car le contrôle perceptif et l'expérience l'ont favorisée.

Avec et à partir de cette valeur 10, les élèves calculeront les valeurs suivantes selon les mêmes relations construites et utilisées au cours de la construction des marches : $V_i = V_{i-1} +$

"valeur numérique" (voir l'analyse de la construction de cette relation dans le paragraphe II.6.4, correspondant au cas de (Olivier, Stéphane)). Pour les élèves, la "valeur numérique" de cette relation est la valeur 10

((Eric, Richard); Etat E16)

R: Maintenant, la nouvelle troisième coordonnée, on va mettre quoi ?

E: Ben, 20.

R: Ben, oui, c'est normal.

E: Je crois.... on ajoute 10

Encore une fois, le résultat graphique (état E17), perceptible, s'oppose à la construction intellectuelle anticipant la position de la nouvelle contre-marche, et basée sur un contrôle par les coordonnées, les relations numériques traduisant des relations géométriques. Ce résultat perceptible faux remet en cause la relation numérique utilisant la valeur 10 comme "pas", et pose même à nouveau la question à propos de l'adoption de la valeur 10 pour la première contre-marche.

((Eric, Richard); Etat E17)

E: Ben, 10 + 10 ça fait 20.

R: mais pourquoi on a fait 10 ?....

E: je ne sais pas... ça a marché là

R: mais non... c'est 7... 10 + 7, c'est 17.

E: Oui, c'est ce qu'il faudrait.... parce que ça, ça vaut 7

Au résultat graphique faux, s'est suivie une réorganisation des relations entre les différents composants, relations se situant sur la charnière entre les deux cadres : géométrique et numérique. C'est encore une fois l'expérience et le résultat perceptible qui validera la décision et la logique de déduction.

((Eric, Richard); Etat E18)

R: Oui, ça fait 17.

E: 17 + 7...c'est ça ? On ajoute encore 7...24...tu vas voir, on va se planter... ça va être 10 cette fois... on va encore se planter.

R: Ho... ça doit marcher, normalement

E: Eh oui!...bon, ça marche

Cet extrait montre que la logique de structuration n'est pas encore parfaitement élaborée chez ce binôme; nous pensons que ce fait résulte de la non-cohérence de la première valeur

(10) attribuée à la 3^o coordonnée, avec cette logique. C'est pourquoi un doute permanent est à noter dans leurs décisions, doute qui n'a pu être levé que par le contrôle perceptif.

Signalons, enfin, que ce binôme n'a pas été confronté, comme les deux autres, aux ambiguïtés perceptives qui auraient pu dévaluer un tel moyen de contrôle, car, faute de temps, leur activité n'a excédé la construction des marches et contre-marches que par le dernier état (E20), où ils ont à nouveau un résultat non compatible à cause du "problème des niveaux".

Pour les deux autres binômes, le contrôle perceptif a aussi été le moyen de contrôle privilégié pour la validation de leurs résultats, jusqu'au début de la phase de construction des bordures. Avec ce moyen de contrôle, ils se basaient aussi (pour la construction) sur des relations de connexité conjointes aux valeurs adaptées des coordonnées (dynamiques et statique).

Avec le début de la construction de la bordure, le moyen de contrôle perceptif a été dévalué, les élèves ne disposent plus que du moyen analytique (contrôle par les coordonnées).

((David, Rachel); Etat E11)

D: On y voit plus rien.

R: (Elle rigole). Je continue quand même...

D: Je vois plus l'escalier, moi..... j'ai beau regarder, je le vois plus...là, je vois un peu (la partie supérieure), mais alors là, je vois plus.

R: Oui, il y a tellement de choses maintenant...le tout c'est que le système marche... il marche bien, je pense... regarde, ça fait presque des...des rectangles...regarde, là, tu le vois l'escalier, maintenant, en haut ?

D: Oui, oui.

Devant l'inquiétude de David qui ne peut plus contrôler perceptivement la construction, Rachel s'appuie sur la cohérence du système de déduction des valeurs des coordonnées. En fait, chez les deux partenaires de ce binôme, nous avons pu noter un décalage dans l'élaboration de moyens de contrôle analytiques. Alors que Rachel pouvait se passer complètement du contrôle perceptif, en le remplaçant par le contrôle analytique (valeurs des coordonnées) et géométrique (basé sur le contrôle par des relations projectives), le raisonnement de David est resté plus longtemps tributaire de la perception, que ce soit au niveau de la validation de la correction d'un résultat graphique (inquiétude car "on ne voit plus rien"), ou au niveau des prises de décision, comme le montre l'exemple suivant :

((David, Rachel); Etat E13)

R:.... Normalement, il faut que je les refasse dessus, je pense... hein ?

D: Oui.... non... plus haut.... vers le haut

R: Ben, non, parce qu'ils sont pareils...ils sont en face...en vue de face...ils sont pas au même niveau mais on ne voit qu'un normalement en vue de face

D: Oui, oui, t'as raison... mais on les voit plus haut

Cet extrait s'est déroulé entre les deux partenaires pour décider de la construction de la première bordure de la balustrade "arrière". Avant toute manipulation et tout essai, la proposition de Rachel est basée sur la relation de superposition des projections des bordures. Quant à David, sa proposition est complètement basé sur le perçu, et sur un perçu figuratif, qui ne tient pas compte des relations géométriques entre les composants : selon la perspective adoptée, ayant un angle (horizontale, fuyante) assez grand, les deux bords horizontaux d'une marche présentent un grand décalage selon la verticale, décalage qui excède de loin le bord supérieur de la bordure correspondante. Ainsi, l'ambiguïté de cette représentation a entraîné le raisonnement de David, de manière que le "perçu" a influencé le "conçu", et qu'il a considéré que la première bordure de la balustrade "derrière" doit être construite "plus haut" que celle correspondante de la balustrade "devant".

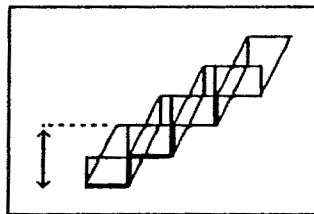


fig.VI.17

C'est selon ce même raisonnement entraîné par le "perçu" que se situe la procédure n°14 de Olivier et Stéphane. L'interprétation du résultat graphique (état E14) par les élèves est aussi intéressante, au niveau des ambiguïtés perceptives qui obligent à un raisonnement plus contrôlé par des relations géométriques et analytiques. En effet, selon le principe dont nous avons parlé plusieurs fois, qui résulte de la nature de la perspective (la direction fuyante), les élèves ont interprété le décalage "en hauteur" de la nouvelle bordure, comme un décalage "en profondeur" :

((Olivier, Stéphane); Etat E14)

O: Ah ! il est derrière, t'as vu ? Il est derrière... attends, je crois que j'ai compris.

O: Le niveau...

S: On est à la vue de face.

O: De côté...on est à la vue de côté.

S: Disons, on est à la vue de face...la vue de face, c'est maintenant la vue de côté...le niveau qu'on va choisir, c'est la profondeur, donc, ce qu'il faut, c'est choisir le... sur la vue ...

O: La profondeur, ben, alors, c'est zéro !

Ce sont, encore une fois, les ambiguïtés perceptives, et l'abondance des éléments enchevêtrés du dessin qui poussent les élèves à anticiper et à contrôler leur action par des relations projectives et analytiques. La validation du résultat obtenu se fait en fonction de ces relations, et de l'histoire de la construction, qui a été contrôlée par des calculs cohérents et logiques, par "un système qui marche", même si le résultat est un "fouillis", comme l'exprime David, devant la sûreté et la confiance de Rachel :

((David, Rachel); à la fin de la construction de l'escalier)

D: ça fait un escalier un peu fouillis.

R: ben.. on s'en fout, de toute manière, c'est ce qu'ils veulent, on peut pas faire autrement... mais il est juste car on l'a bien fait avec les chiffres et tout... là il est transparent, on va peut-être, après, nous demander de le faire en bois (elle fait référence à l'activité "Arêtes cachées").

D: oh là là, on va finir architectes.

R: (en rigolant) architectes sur Macintosh.

III.3. Bilan et conclusion :

Dans cette dernière phase de construction de représentations graphiques avec Mac Space, une structuration de l'espace du logiciel et de son système de référence s'est poursuivie, comme conditions nécessaires à la résolution du problème posé.

Au début de l'activité, nous avons pu repérer l'application, par les élèves, de pratiques élaborées au cours de la séance précédente, basées sur des relations qui ont été construites et élaborées dans son contexte, à travers une longue interaction avec le logiciel d'une part, et avec l'objet concerné, d'autre part. Ces relations dépendent, en partie de la structure de l'espace du logiciel et de ses caractéristiques (ce qui caractérise leur aspect absolu), et en partie de l'objet concerné, avec ses caractéristiques propres et positionnelles dans cet espace (ce qui caractérise leur aspect relatif). Par exemple, la correspondance entre la direction normale de l'espace et la coordonnée "y" du système de référence du logiciel relève de l'aspect absolu des relations construites, tandis que celle entre la coordonnée "y" et la largeur de la marche (la valeur 7) relève de leur aspect relatif.

Ainsi construites, ces relations avaient donné lieu à des automatismes facilitateurs, où les élèves ne distinguaient pas les deux aspects. Au sein de la situation précédente, ces automatismes étaient des moyens de solution adaptés et économiques que les élèves ont essayé d'appliquer pour la réalisation de la tâche présente; ces essais d'adaptation ont été favorisés par un sous-ensemble des données numériques de la tâche présente, qui coïncide avec les données numériques de la tâche précédente (10 et 7). Ces relations se sont avérées non adaptées, car le nouveau choix de la position de l'escalier a faussé leur aspect relatif.

Les élèves se sont alors trouvés obligés de reconstruire de nouvelles relations qui soient adaptées à la nouvelle situation, en effectuant une restructuration de l'espace de l'objet en fonction de l'espace représenté par le logiciel (voir le cas de (Eric, Richard) par exemple).

D'autre part, la position non-usuelle de l'escalier à représenter a posé le problème des relations projectives qui, souvent dans l'enseignement (scolaire et de dessin technique), sont rendues évidentes par une position adéquate de l'objet, ce qui rend possible une "transposition" de la vue de face (Rabardel & Weill-Fassina, ouvrage collectif INRP 1984), à partir de laquelle la représentation de l'objet revient à mettre en évidence des fuyantes. Dans la situation présente, et surtout après la réalisation de la représentation graphique de l'escalier dans une position différente, les relations projectives, qui sont à la base du premier "processus-clé" de structuration de l'espace (cf. § III.2.1 du chap.IV), sont à reconstruire, en surmontant l'obstacle de l' "intuition" et des heuristiques. C'est ce processus que nous avons visé, après un début d'activité des élèves où ils ont représenté les premiers composants de l'escalier dans une position usuelle.

Au cours de la première phase (construction des marches et contre-marches), l'analyse de l'activité des élèves a révélé un aspect intéressant de leur interaction avec le logiciel : nous avons noté une tendance de plus en plus accrue vers une anticipation et une construction intellectuelle de la solution avant sa mise en œuvre et sa confrontation au logiciel. Cette tendance est le résultat d'une évolution à travers la séquence de travail avec ce logiciel, et surtout la séance précédente où, comme nous l'avons montré, a eu lieu la construction d'une logique de fonctionnement du système de référence du logiciel, qui a permis un contrôle du géométrique à travers le numérique.

Comme nous l'avons montré dans l'analyse de cette activité, les essais des élèves ont été basés sur de telles constructions, puis confrontées aux contraintes du logiciel. Un contrôle perceptif servait à les valider, ou à les déstabiliser, ce qui incitait les élèves à en construire d'autres plus adaptées. Ces constructions s'effectuent dans le cadre numérique et analytique, intégrant des connaissances concernant le mode de fonctionnement du

logiciel; la validation se fait dans le cadre géométrique (contrôle perceptif des relations projectives).

Au cours de la deuxième phase, ce contrôle ayant été rendu difficile et non suffisamment pertinent, c'est par son dépassement que la résolution du problème s'est effectuée chez les deux binômes dont l'activité a atteint cette phase (Eric et Richard n'y sont pas arrivés). Nous avons illustré ce dépassement avec l'exemple de Rachel, et de (Olivier, Stéphane). Les relations et règles géométriques construites au cours de la phase précédente ont procuré une sûreté et un moyen de validation des constructions réalisées au cours de cette phase.

Ainsi, nous pouvons parler d'une évolution, chez les élèves, de la représentation qu'ils se font de l'ordinateur, comme outil d'action essentiellement. Les contraintes du logiciel utilisé et la nature des tâches proposées ont favorisé une évolution vers la construction intellectuelle d'un projet de solution, intégrant une connaissance du mode de fonctionnement et une structuration de l'espace de plus en plus élaborées. L'action est de plus en plus plus considérée comme le moyen de mise à épreuve de telles constructions, d' "expérience cruciale" (Balacheff 1988) qui peut trancher deux points de vues différents, ou valider un point de vue commun, chez les deux partenaires d'un même binôme.

Résumé

L'ordinateur peut-il aider à surmonter quelques problèmes de représentation d'objets de l'espace, dans le contexte de l'enseignement de la géométrie tridimensionnelle ? Peut-il contribuer à l'évolution et au contrôle de l' "activité perceptive", lors de l'interprétation ou de la production de dessins illustrant des problèmes de géométrie dans l'espace ? Finalement, et surtout, peut-il contribuer à la restauration du lien de sens entre les rapports à l'espace physique et les connaissances théoriques de la géométrie analytique ?

Dans cette recherche, un processus d'apprentissage est construit, utilisant les contraintes de deux logiciels graphiques pour faire construire par les élèves divers systèmes de repérage, basés sur différentes structurations de l'espace. Un rôle particulier est attribué à la perception, à la fois comme moyen de contrôle et comme obstacle.

Les élèves concernés sont des élèves de 3^o (14-16 ans). L'analyse des données expérimentales recueillies a permis de mettre en évidence une hiérarchie des systèmes de référence construits au sein des différentes situations. Elle a permis, d'autre part, de dégager des résultats concernant le rôle de l'interaction entre l'élève et l'ordinateur, dans l'évolution des connaissances. Une telle évolution est liée à l'évolution de la manière dont l'élève conçoit cet outil : d'un moyen d'essai-erreur en vue de l'obtention d'un résultat vers un moyen de validation de conjectures à propos d'un mode d'utilisation cohérent.

k.3

Mots-clés

géométrie dans l'espace ; système de référence ; représentations graphiques ; perspective ; ambiguïtés perceptives ; ordinateur ; interaction utilisateur / machine ; situation-problème