



HAL
open science

Mise en œuvre et expérimentation pédagogique d'un système d'enseignement assisté par ordinateur en électrotechnique : E.S.P.A.C.E

Alain Bolopion

► **To cite this version:**

Alain Bolopion. Mise en œuvre et expérimentation pédagogique d'un système d'enseignement assisté par ordinateur en électrotechnique : E.S.P.A.C.E. Modélisation et simulation. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG; Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1975. Français. NNT : . tel-00285678

HAL Id: tel-00285678

<https://theses.hal.science/tel-00285678>

Submitted on 6 Jun 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.

N° C.N.R.S : A.O. 11.742

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE DE GRENOBLE

et à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGÉNIEUR

PAR

Alain BOLOPION

Ingénieur I.N.P.G.

Mise en œuvre et expérimentation
pédagogique d'un système d'enseignement
assisté par ordinateur en électrotechnique
(E.S.P.A.C.E.)

Soutenue le 13 Octobre 1975 devant la Commission d'Examen

J U R Y

Messieurs : R. PAUTHENET

Président

P. ARNAUD

R. BONNEFILLE

R. JACOUD

J.C. SABONNADIÈRE

A. SARAZIN

} Examineurs

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

M. Michel SOUTIF : Président
M. Gabriel CAU : Vice-président

MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE L'U.S.M.G.

PROFESSEURS TITULAIRES

MM.	ANGLES D'AURIAC Paul	Mécanique des fluides
	ARNAUD Paul	Chimie
	AUBERT Guy	Physique
	AYANT Yves	Physique approfondie
Mme	BARBIER Marie-Jeanne	Electrochimie
MM.	BARBIER Jean-Claude	Physique expérimentale
	BARBIER Reynold	Géologie appliquée
	BARJON Robert	Physique nucléaire
	BARNOUD Fernand	Biosynthèse de la cellulose
	BARRA Jean-René	Statistiques
	BARRIE Joseph	Clinique chirurgicale
	BEAUDOING André	Clinique de Pédiatrie et Puériculture
	BERNARD Alain	Mathématiques Pures
Mme	BERTRANDIAS Françoise	Mathématiques Pures
MM.	BEZES Henri	Pathologie chirurgicale
	BLAMBERT Maurice	Mathématiques Pures
	BOLLIET Louis	Informatique (IUT B)
	BONNET Georges	Electrotechnique
	BONNET Jean-Louis	Clinique ophtalmologique
	BONNET-EYMARD Joseph	Pathologie médicale
	BOUCHERLE André	Chimie et Toxicologie
	BOUCHEZ Robert	Physique nucléaire
	BOUSSARD Jean-Claude	Mathématiques Appliquées
	BRAVARD Yves	Géographie
	CABANEL Guy	Clinique rhumatologique et hydrologique
	CALAS François	Anatomie
	CARTIER Georges	Biologie végétale
	CARRAZ Gilbert	Biologie animale et pharmacodynamie
	CAU Gabriel	Médecine légale et Toxicologie
	CAUQUIS Georges	Chimie organique
	CHABAUTY Claude	Mathématiques Pures
	CHARACHON Robert	Clinique Oto-Rhino-Laryngologique
	CHATEAU Robert	Thérapeutique (Neurologie)
	CHIBON Pierre	Biologie animale
	COEUR André	Pharmacie chimique et chimie analytique
	CONTAMIN Robert	Clinique gynécologique
	COUDERC Pierre	Anatomie Pathologique
	CRAYA Antoine	Mécanique
Mme	DEBELMAS Anne-Marie	Matière médicale
MM.	DEBELMAS Jacques	Géologie générale
	DEGRANGE Charles	Zoologie
	DELORMAS Pierre	Pneumo-Phthisiologie
	DEPORTES Charles	Chimie minérale
	DESRE Pierre	Métallurgie
	DESSAUX Georges	Physiologie animale
	DODU Jacques	Mécanique appliquée
	DOLIQUE Jean-Michel	Physique des plasmas
	DREYFUS Bernard	Thermodynamique
	DUCROS Pierre	Cristallographie
	DUGOIS Pierre	Clinique de Dermatologie et Syphillographie
	FAU René	Clinique neurologique

MM.	GAGNAIRE Didier	Chimie physique
	GALLISSOT François	Mathématiques Pures
	GALVANI Octavo	Mathématiques Pures
	GASTINEL Noël	Analyse numérique
	GAVEND Michel	Pharmacologie
	GEINDRE Michel	Electroradiologie
	GERBER Robert	Mathématiques Pures
	GERMAIN Jean-Pierre	Mécanique
	GIRAUD Pierre	Géologie
	JANIN Bernard	Géographie
	KAHANE André	Physique générale
	KLEIN Joseph	Mathématiques Pures
	KOSZUL Jean-Louis	Mathématiques Pures
	KRAVTCHENKO Julien	Mécanique
	KUNTZMANN Jean	Mathématiques Appliquées
	LACAZE Albert	Thermodynamique
	LACHARME Jean	Biologie végétale
	LAJZEROWICZ Joseph	Physique
	LATREILLE René	Chirurgie générale
	LATURAZE Jean	Biochimie pharmaceutique
	LAURENT Pierre	Mathématiques Appliquées
	LEDRU Jean	Clinique médicale B
	LLIBOUTRY Louis	Géophysique
	LONGEQUEUE Jean-Pierre	Physique nucléaire
	LOUP Jean	Géographie
Mlle	LUTZ Elisabeth	Mathématiques Pures
	MALGRANGE Bernard	Mathématiques Pures
	MALINAS Yves	Clinique obstétricale
	MARTIN-NOEL Pierre	Seméiologie médicale
	MAZARE Yves	Clinique médicale A
	MICHEL Robert	Minéralogie et Pétrographie
	MICLOUD Max	Clinique maladies Infectieuses
	MOURIQUAND Claude	Histologie
	MOUSSA André	Chimie nucléaire
	MULLER Jean Michel	Thérapeutique (néphrologie)
	NEEL Louis	Physique du Solide
	OZENDA Paul	Botanique
	PAYAN Jean-Jacques	Mathématiques Pures
	PEBAY-PEYROULA Jean-Claude	Physique
	RASSAT André	Chimie systématique
	RENARD Michel	Thermodynamique
	RINALDI Renaud	Physique
	DE ROUCEMONT Jacques	Neuro-chirurgie
	SEIGNEURIN Raymond	Microbiologie et Hygiène
	SENGEL Philippe	Zoologie
	SIBILLE Robert	Construction mécanique
	SOUTIF Michel	Physique générale
	TANCHE Maurice	Physiologie
	TRAYNARD Philippe	Chimie générale
	VAILLANT François	Zoologie
	VALENTIN Jacques	Physique Nucléaire
	VAUQUOIS Bernard	Calcul électronique
Mme	VERAIN Alice	Pharmacie galénique
M.	VERAIN André	Physique
MM.	VEYRET Paul	Géographie
	VIGNAIS Pierre	Biochimie médicale
	YOCOZ Jean	Physique nucléaire théorique
	ZISMAN Michel	Mathématiques pures

PROFESSEURS ASSOCIES

MM.	BALMSKI Michel	Mathématiques appliquées
	COPPENS Philip	Physique
	CORCOS Gilles	Mécanique

MM.	CRABBE Pierre	CERMO
	DUTTON Guy	CERMAV
	GILLESPIE John	I.S.N.
	SAMPSON Joseph	Mathématiques pures

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Mie	AGNIUS-DELORD Claudine	Physique pharmaceutique
	ALARY Josette	Chimie analytique
MM.	AMBROISE-THOMAS Pierre	Parasitologie
	BELORIZKY Elie	Physique
	BENZAKEN Claude	Mathématiques appliquées
	BERTRANDIAS Jean-Paul	Mathématiques appliquées
	BIAREZ Jean-Pierre	Mécanique
	BILLET Jean	Géographie
Mme	BONNIER Jane	Chimie générale
MM.	BOUCHET Yves	Anatomie
	BRUGEL Lucien	Energétique
	CONTE René	Physique
	DEPASSEL Roger	Mécanique des Fluides
	GAUTHIER Yves	Sciences biologiques
	GAUTRON René	Chimie
	GIDON Paul	Géologie et Minéralogie
	GLENAT René	Chimie organique
	GROULADE Joseph	Biochimie médicale
	HACQUES Gérard	Calcul numérique
	HOLLARD Daniel	Hématologie
	HUGONOT Robert	Hygiène et Méd. Préventive
	IDELMAN Simon	Physiologie animale
	JOLY Jean-René	Mathématiques pures
	JULLIEN Pierre	Mathématiques appliquées
Mme	KAHANE Josette	Physique
MM.	KUHN Gérard	Physique
	LOISEAUX Jean	Physique nucléaire
	LUU-DUC-Cuong	Chimie Organique
	MAYNARD Roger	Physique du solide
	PELMONT Jean	Biochimie
	PERRIAUX Jean-Jacques	Géologie et minéralogie
	PFISTER Jean-Claude	Physique du solide
Mie	PIERY Yvette	Physiologie animale
MM.	RAYNAUD Hervé	M.I.A.G.
	REBECQ Jacques	Biologie (CUS)
	REVOL Michel	Urologie
	REYMOND Jean-Charles	Chirurgie générale
	RICHARD Lucien	Biologie végétale
Mme	RINAUDO Marguerite	Chimie macromoléculaire
MM.	ROBERT André	Chimie papetière
	SARRAZIN Roger	Anatomie et chirurgie
	SARROT-REYNAULD Jean	Géologie
	SIROT Louis	Chirurgie générale
Mme	SOUTIF Jeanne	Physique générale
MM.	STIEGLITZ Paul	Anesthésiologie
	VIALON Pierre	Géologie
	VAN CUTSEM Bernard	Mathématiques appliquées

MAITRES DE CONFERENCES ET MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

MM.	AMBLARD Pierre	Dermatologie
	ARMAND Gilbert	Géographie
	ARMAND Yves	Chimie
	BARGE Michel	Neurochirurgie
	BARJOLLE Michel	M.I.A.G.
	BEGUIN Claude	Chimie organique
Mme	BERIEL Héléne	Pharmacodynamique

MM.	BOST Michel	Pédiatrie
	BOUCHARLAT Jacques	Psychiatrie adultes
Mme	BOUCHE Liane	Mathématiques (CUS)
MM.	BRODEAU François	Mathématiques (IUT B)
	BUISSON Roger	Physique
	BUTEL Jean	Orthopédie
	CHAMBAZ Edmond	Biochimie médicale
	CHAMPETIER Jean	Anatomie et organogénèse
	CHARDON Michel	Géographie
	CHERADAME Hervé	Chimie papetière
	CHIAVERINA Jean	Biologie appliquée (EFP)
	COHEN-ADDAD Jean-Pierre	Spectrométrie physique
	COLOMB Maurice	Biochimie médicale
	CORDONNIER Daniel	Néphrologie
	COULOMB Max	Radiologie
	CROUZET Guy	Radiologie
	CYROT Michel	Physique du solide
	DELOBEL Claude	M.I.A.G.
	DENIS Bernard	Cardiologie
	DOUCE Roland	Physiologie végétale
	DUSSAUD René	Mathématiques (CUS)
Mme	ETERRADOSSI Jacqueline	Physiologie
MM.	FAURE Gilbert	Urologie
	FAURE Jacques	Médecine légale
	FONTAINE Jean-Marc	Mathématiques Pures
	GAUTIER Robert	Chirurgie générale
	GENSAC Pierre	Botanique
	GIDON Maurice	Géologie
	GRIFFITHS Michaël	Mathématiques Appliquées
	GROS Yves	Physique (stag.)
	GUITTON Jacques	Chimie
	HICTER Pierre	Chimie
	IVANES Marcel	Electricité
	JALBERT Pierre	Histologie
	KOLODIE Lucien	Hématologie
	KRAKOWIAK Sacha	Mathématiques appliquées
Mme	LAJZEROWICZ Jeannine	Physique
MM.	LEROY Philippe	Mathématiques
	MACHE Régis	Physiologie végétale
	MAGNIN Robert	Hygiène et Médecine préventive
	MALLION Jean Michel	Médecine du travail
	MARECHAL Jean	Mécanique
	MARTIN-BOUYER Michel	Chimie (CUS)
	MICHOULIER Jean	Physique (I.U.T. "A")
Mme	MINIER Colette	Physique
MM.	NEGRE Robert	Mécanique
	NEMOZ Alain	Thermodynamique
	PARAMELLE Bernard	Pneumologie
	PECCOUD François	Analyse (IUT B)
	PEFFEN René	Métallurgie
	PERRET Jean	Neurologie
	PERRIER Guy	Géophysique
	PHELIP Xavier	Rhumatologie
	RACHAIL Michel	Médecine Interne
	RACINET Claude	Gynécologie et obstétrique
	RAMBAUD Pierre	Pédiatrie
Mme	RENAUDET Jacqueline	Bactériologie
MM.	ROBERT Jean Bernard	Chimie-Physique
	ROMIER Guy	Mathématiques (IUT B)
	SHOM Jean Claude	Chimie Générale
	STOEBNER Pierre	Anatomie pathologique
	VROUSOS Constantin	Radiologie

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

MM. COLE Antony
FARELL César
MOORSANI Kishin

Sciences nucléaires
Mécanique
Physique

CHARGES DE FONCTIONS DE MAITRES DE CONFERENCES

M. ROCHAT Jacques

Hygiène et hydrologie

Fait à Saint Martin d'Hères, AVRIL 1975

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

Président : M. Louis NEEL
Vice-Présidents : MM. Jean BENOIT
Lucien BONNETAIN

PROFESSEURS TITULAIRES

MM. BENOIT Jean	Radioélectricité
BESSON Jean	Electrochimie
BLOCH Daniel	Physique du solide
BONNETAIN Lucien	Chimie Minérale
BONNIER Etienne	Electrochimie et Electrometallurgie
BRISSONNEAU Pierre	Physique du solide
BUYLE-BODIN Maurice	Electronique
COUMES André	Radioélectricité
FELICI Noël	Electrostatique
LESPINARD Georges	Mécanique
MOREAU René	Mécanique
PARIAUD Jean-Charles	Chimie-Physique
PAUTHENET René	Physique du solide
PERRET René	Servomécanisme
POLOUJADOFF Michel	Electrotechnique
SILBER Robert	Mécanique des Fluides

PROFESSEURS ASSOCIES

MM. RABINS Michaël	Automatique
ROUXEL Roland	Automatique

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM. BLIMAN Samuel	Electronique
COHEN Joseph	Electrotechnique
DURAND Francis	Métallurgie
FOULARD Claude	Automatique
LANCIA Roland	Electronique
VEILLON Gérard	Informatique fondamentale et appliquée
ZADWORI François	Electronique

MAITRES DE CONFERENCES

MM. BOUDOURIS Georges	Radioélectricité
BOUVARD Maurice	Génie mécanique
CHARTIER Germain	Electronique
GUYOT Pierre	Chimie Minérale
IVANES Marcel	Electrotechnique
JOUBERT Jean-Claude	Physique du solide
LACQUME Jean-Louis	Géophysique
MORET Roger	Electrotechnique Nucléaire
ROBERT François	Analyse numérique
SABONNAIRE Jean-Claude	Informatique fondamentale et appliquée
Mme SAUCIER Gabrièle	Informatique fondamentale et appliquée

CHARGE DE FONCTIONS DE MAITRE DE CONFERENCES

MM. ANCEAU François	Mathématiques Appliquées
PIERRARD Jean-Marie	Hydraulique

CHERCHEURS DU C.N.R.S.

M. FRUCHART Robert	Directeur de recherche
M. ANSARA Ibrahim	Maître de recherche
M. DRIOLE Jean	Maître de recherche
M. MATHIEU Jean-Claude	Maître de recherche
M. MUNIER Jacques	Maître de recherche

Je tiens à exprimer ici mes profonds remerciements à :

Monsieur le Professeur PAUTHENET, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et de Génie Physique de Grenoble, qui a bien voulu me faire l'honneur de présider le jury de cette thèse,

Monsieur le Professeur ARNAUD, Directeur du Centre Universitaire d'Etudes et de Formation des Adultes de Grenoble,

Monsieur le Professeur BONNEFILLE, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, Directeur du Laboratoire de Génie Electrique de Paris,

Monsieur le Professeur JACOUD, Directeur du Centre d'Ordinateur pour Etudiants de l'Université de Paris VII, et

Monsieur le Professeur SARAZIN, Directeur de l'Institut de Physique Nucléaire de l'Université Claude Bernard de Lyon,

pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour ce travail en acceptant d'honorer le jury de leur présence.

Monsieur SABONNADIÈRE, Maître de Conférences à l'Institut National Polytechnique de Grenoble, m'a proposé ce sujet passionnant. Par ses conseils éclairés, il m'a constamment guidé tout au long de cette étude ; qu'il trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude.

Monsieur LATOMBE, Maître-Assistant à l'Institut National Polytechnique de Grenoble, m'a apporté son aide tout au long de ce travail. Il n'a ménagé ni son temps ni ses précieux conseils, tant pour les problèmes techniques que lors de la rédaction de ce mémoire. Qu'il soit assuré de ma très profonde et amicale reconnaissance.

Je présente mes plus vifs remerciements à Monsieur le Professeur HAMMOND, Directeur du programme de recherche sur le jugement humain et les relations sociales à l'Université du Colorado, qui a bien voulu m'accueillir dans son Laboratoire et m'a apporté son aide très précieuse. Je remercie également R. L. COOK, chercheur à l'Université du Colorado, pour son amicale collaboration au cours de mon séjour dans cette Université.

Je remercie très chaleureusement :

Les élèves ingénieurs des promotions I.E.G. 1974, 1975 et 1976 qui ont réalisé leur projet de deuxième année sur le système ESPACE, pour leur coopération sincère et les nombreuses remarques dont ils ont bien voulu me faire part à la suite de leur travail.

Monsieur BOURNERIE, ingénieur aux Etablissements Merlin et Gérin, pour l'aide qu'il m'a apportée dans la confection de diapositives sur la construction des transformateurs.

Messieurs HENRIOUX, ingénieur au C.E.P.H.A.G., et MARIAUX, ingénieur à l'E.C.L., pour avoir bien voulu m'apporter leur précieux concours pour la résolution des problèmes techniques.

Monsieur le Professeur POLOUJADOFF, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble, qui m'a fait l'honneur de venir travailler sur le système ESPACE et m'a beaucoup apporté par ses remarques et ses conseils.

J'adresse mes remerciements très sincères

à mes amis et camarades du Laboratoire, chercheurs, ingénieurs, enseignants, techniciens, personnel de la reprographie et personnel de service pour la chaleureuse ambiance et les conditions matérielles dans lesquelles ils m'ont permis de réaliser ce travail, et tout particulièrement

- Messieurs BEVIER, CAMPAS et MOREL, pour la compétence et les conseils dont ils ont bien voulu me faire profiter dans la résolution des problèmes techniques,

- Monsieur MASSE, pour les nombreuses discussions que nous avons eues ensemble,

- Monsieur DUCLOZ pour les nombreuses remarques qu'il m'a faites à la suite du travail des étudiants,

- Messieurs DEYMONNAZ et MALLET, pour le soin particulier qu'ils ont apporté à la réalisation du matériel sur lequel travaillent les étudiants.

Je tiens à remercier tout spécialement Mademoiselle SAUVE, pour la gentillesse, la bonne humeur et le soin avec lesquels elle a bien voulu réaliser l'impression de ce mémoire.

Je remercie enfin le Ministère de l'Education Nationale, dont la subvention a rendu possible cette étude ainsi que la réalisation matérielle du système ESPACE.

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION	
I - L'enseignement : un enrichissement des processus de pensée de l'individu.....	1
II - Quelques caractéristiques de l'évolution de l'E.A.O.....	3
III - La place du système ESPACE dans cette évolution.....	4
IV - Plan de notre étude.....	5
CHAPITRE I : ESPACE : LES OBJECTIFS, LE PROTOTYPE	
I - Introduction.....	6
II - Le projet : une nécessité pédagogique	
1 - Pourquoi apprendre à concevoir.....	6
2 - Ce que les étudiants apprennent.....	8
3 - Le projet : une panacée ?.....	10
4 - Plusieurs types de projets.....	11
III - ESPACE : un Ensemble de Systèmes Pédagogiques pour l'Assistance à la Conception en Electrotechnique	
1 - Position du problème.....	12
2 - Principes généraux.....	13
3 - Fonctionnement d'ESPACE.....	16
4 - Les principes de réalisation d'ESPACE.....	22
IV - La première réalisation d'ESPACE.....	23

CHAPITRE II : LA PREMIERE EXPERIMENTATION DU SYSTEME

I - Le déroulement de l'expérimentation	
1 - Ses objectifs.....	25
2 - Les moyens utilisés.....	26
3 - L'environnement pédagogique du projet et du système.....	31
II - Les premiers résultats.....	33
III - De nouveaux axes de travail	
1 - Ce qu'ESPACE apporte.....	38
2 - Les critiques à l'égard du fonctionnement du système.....	39
3 - En conclusion... ..	40

CHAPITRE III : LA REALISATION DE L'APPLICATION "TRANSFO"

I - Les différents aspects de la réalisation d'une application.....	41
II - Le niveau "utilisateur".....	42
III - Le niveau "application"	
1 - Définition du problème.....	46
2 - Notre travail.....	47
IV - Les apports au niveau "matériel"	
1 - Les projecteurs de diapositives.....	53
2 - Redéfinition et améliorations du poste de travail.....	55
V - Etude du "système"	
1 - Le support logiciel	
1 - 1 - Le langage de programmation.....	58
1 - 2 - Les fonctions des programmes généraux du système.....	59
1 - 3 - Nos apports au système.....	61
2 - La méthodologie	
2 - 1 - La structuration des informations.....	64
2 - 2 - La composition des algorithmes de calcul.....	68
Conclusion.....	72

CHAPITRE IV - PROBLEMES LIES A LA MISE EN OEUVRE DE LA NOUVELLE APPLICATION	
I - Introduction.....	74
II - La formation des utilisateurs.....	
1 - Le manuel d'utilisation.....	75
2 - La présentation du système.....	77
3 - Les principales difficultés rencontrées par les étudiants.....	78
III - La question de l'évaluation pédagogique	
1 - Critique des moyens que nous avons utilisés.....	80
2 - Le système POLICY.....	81
CONCLUSION.....	86
ANNEXE I : LISTE DES CARACTERISTIQUES DU TRANSFORMATEUR CONSIDEREES COMME DES DONNEES.....	88
ANNEXE II : LISTE DES CARACTERISTIQUES DU TRANSFORMATEUR CALCULABLES PAR LE SYSTEME ESPACE.....	91
ANNEXE III : GESTION DU RYTHME DE PROJECTION DES DIAPOSITIVES.....	95
ANNEXE IV : L'ORGANISATION MATERIELLE DES PROJETS.....	103
BIBLIOGRAPHIE.....	106

I N T R O D U C T I O N

I - L'ENSEIGNEMENT : UN ENRICHISSEMENT DES PROCESSUS DE PENSÉE DE L'INDIVIDU |1|

Si l'on étudie l'évolution dans le temps des méthodes pédagogiques, on constate que, chez les Anciens, l'enseignement était un travail de longue haleine accompli par le maître entouré d'un nombre restreint de disciples. L'augmentation du nombre des élèves a orienté les méthodes vers une forme d'enseignement encore fort employée de nos jours : "la transmission des connaissances". Celle-ci se fait ou se faisait soit de manière orale (cours), soit par l'intermédiaire de supports d'information (livres, notes). Bien que le mode de présentation ait subi lors de ces dernières années une évolution liée à celle des supports d'information, le processus fondamental reste néanmoins basé sur l'acquisition des connaissances. En effet, les moyens audiovisuels (diapositives, rétroprojection, magnétoscope) et les autres supports (livrets d'enseignement programmé, ordinateur en tant que mémoire) ne sont que des relais perfectionnés de la transmission de la connaissance de celui qui la détient à celui qui désire l'acquérir. La pédagogie traditionnelle reste liée à un processus qui va du maître qui sait à l'élève qui apprend : c'est une pédagogie descendante.

Les possibilités qu'offrent les techniques évoluées permettent de formuler une alternative à ce type de pédagogie, en considérant l'enseignement comme une formation de l'individu, c'est-à-dire comme une modification de ses processus de pensée. C'est par un long apprentissage

que l'élève réussit à mettre en ordre ses connaissances afin de pouvoir les utiliser efficacement lorsque les circonstances le demandent. On rejoint ainsi la formation que le disciple recevait à travers la présence et l'expérience de son maître dans la résolution quotidienne de problèmes bien choisis.

Au fur et à mesure que son expérience s'accroît et que sa formation s'enrichit, l'élève découvre une rigueur de pensée et une méthodologie déductive dans les sciences exactes (mathématiques), et acquiert une expérience associée à une méthodologie inductive dans les sciences expérimentales (physique, biologie) et humaines (histoire, sociologie). Il ressent la nécessité de se mesurer à des problèmes plus difficiles et de tirer parti de l'expérience de ses maîtres à travers sa propre expérience. Cette fois, le processus pédagogique part de l'élève pour aller progressivement jusqu'au maître. C'est une pédagogie ascendante basée sur les connaissances et l'expérience de l'élève, et non pas sur celles du maître.

Il est évident qu'au cours d'un cycle complet d'enseignement, pédagogies ascendante et descendante sont intimement liées. Cependant, un système pédagogique sera différent suivant qu'il est basé essentiellement sur l'une ou l'autre de ces formes d'enseignement.

Pendant de nombreuses décennies, l'augmentation du nombre des élèves a contraint la pédagogie à s'adapter à "l'élève moyen". Aujourd'hui, l'utilisation de l'informatique ouvre une voie nouvelle en permettant de personnaliser, "d'individualiser" l'enseignement [2], [3], [4]. Pour cela, il faut revenir à l'un des principes essentiels en éducation : apprendre aux élèves à résoudre les problèmes qu'ils rencontreront dans leur vie. Si l'acquisition des connaissances reste indispensable, elle doit être complétée par un effort d'organisation, de structuration qui permettra aux individus de s'adapter aux situations les plus variées.

Cette organisation des connaissances, propre à chacun, ne peut être favorisée qu'à travers un enseignement qui suive le rythme de chaque élève |5|. La technologie éducative, et en particulier l'ordinateur utilisé en "temps partagé" doit permettre une orientation dans ce sens |6|, |7|. C'est de l'évolution de cette forme d'enseignement assisté par ordinateur (E.A.O.) que nous allons parler maintenant.

II - QUELQUES CARACTERISTIQUES DE L'EVOLUTION DE L'E.A.O.

Nous n'avons pas l'intention de faire le tour de toutes les formes que peut revêtir l'E.A.O. actuellement. Nous voulons simplement mettre l'accent sur deux phénomènes : les formes très variées que prend la présence de l'ordinateur dans l'enseignement, et les modifications qui en résultent dans les structures de "l'école".

Peu d'années séparent les premiers balbutiements des méthodes de correction automatique de tests sous forme de question à choix multiples (Q.C.M.), du développement de certains systèmes d'E.A.O. américains tels PLATO IV |8| ou le système de petits calculateurs de J. K. Stetten |9|.

Certains auteurs, dont G. A. Comstock |10| distinguent cinq manières d'intégrer l'ordinateur dans l'éducation :

- l'étude de l'informatique : l'ordinateur est le sujet même de l'enseignement.
- une aide à l'étudiant pour la résolution de problèmes : on étudie une sphère particulière d'application de l'ordinateur, qui devient alors un outil.
- un support d'information : l'ordinateur présente directement les connaissances à l'élève à la place du professeur.

- un instrument de simulation des phénomènes physiques ou sociaux que l'élève étudie à travers leur représentation.
- une aide au professeur, qui peut aller du simple classement d'informations (gestion administrative) à des programmes pour l'orientation scolaire des élèves.

Pour remplir ces diverses fonctions, l'ordinateur est le plus souvent accompagné de moyens audio-visuels, parmi lesquels la télévision tient une grande place [11], [12]. Mais il ne faut pas oublier que des intérêts économiques importants sont souvent sous-jacents à cette éclosion de la technologie [13]. Le débat pour le choix de gros systèmes centralisés ou de petits systèmes parsemés sur un territoire en est un exemple [14].

Dans cet environnement créé par la technologie, de nouveaux rapports s'instaurent entre les enseignants, tant pour la préparation des moyens (matériel ou logiciel), que pour leur utilisation. D'autre part, l'organisation traditionnelle de la classe tend à se modifier peu à peu pour laisser une plus grande place au travail individuel de l'élève, y compris lors de l'acquisition des connaissances.

Cette évolution rapide, mais un peu anarchique de l'E.A.O. a mis en évidence la nécessité de revoir un certain nombre d'habitudes au contact de cet outil nouveau [15]. Elle peut conduire aussi à redéfinir les objectifs mêmes de l'enseignement [16].

III - LA PLACE DE SYSTEME ESPACE DANS CETTE EVOLUTION

ESPACE est un système d'enseignement assisté par ordinateur élaboré en 1972 à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et de Génie Physique de Grenoble, par J. C. Latombe [17] sous la direction de J. C. Sabonnadière. La vocation de cette Ecole est la formation d'ingénieurs ; c'est dire que l'enseignement s'adresse à des étudiants qui

ont suivi une préparation de quelques années après la fin de leurs études secondaires, et qui possèdent un bagage théorique de haut niveau.

Le système ESPACE s'intègre dans la formation technique que reçoivent les futurs ingénieurs au cours des trois années de leur scolarité, dans le domaine de l'électrotechnique. Ses principes de réalisation, basés sur la résolution de problème et l'apprentissage de la conception, en font un véritable partenaire pour l'élève. L'utilisateur travaille en effet en constante interaction avec l'ordinateur, sans que celui-ci lui impose une méthode ou une direction de réflexion. Dans ces conditions, le travail des étudiants est hautement individualisé car chacun se sert du système comme d'un outil, à son rythme propre.

IV - PLAN DE NOTRE ETUDE

Nous nous proposons tout d'abord d'étudier le système ESPACE en développant ce que nous entendons par "travail de conception", et en examinant comment un utilisateur placé devant une console perçoit le système.

Dans une deuxième partie, nous exposerons les moyens que nous avons employés pour la validation pédagogique d'ESPACE. Ceci nous conduira à critiquer, puis redéfinir les principes de réalisation d'un tel système.

Nous verrons alors comment les conclusions de cette première expérimentation nous ont amenés à construire un nouveau système sur les mêmes bases que le premier, mais en profitant de la voie tracée par J. C. Latombe dans la solution des problèmes informatiques pour mettre l'accent sur des questions plus spécifiquement pédagogiques.

Enfin, la quatrième partie nous permettra de nous intéresser à nouveau à l'utilisateur du système, mais cette fois en l'aidant à résoudre ses difficultés... et en cherchant des moyens pour analyser sa démarche !

C H A P I T R E I

E S P A C E : LES OBJECTIFS - LE PROTOTYPE

I - INTRODUCTION

La démarche que nous suivrons dans ce premier chapitre est l'image de ce que fut la première phase de notre travail. Nous allons aborder l'aspect externe du système ESPACE, étudier le fonctionnement de l'outil sans nous préoccuper de la manière dont il est réalisé. Nous serons alors amenés à préciser le contexte dans lequel ce système a été conçu et développé.

Le système ESPACE est un exemple d'utilisation de l'enseignement assisté par ordinateur pour la conception de projets. Notre but étant d'effectuer sa validation sur le plan pédagogique, nous nous mettrons d'emblée à la place de l'élève, non pas à celle de l'enseignant. C'est pourquoi nous avons limité notre étude à l'application "TRANSFO", que les étudiants utilisent pour leur projet de conception de transformateur, bien que les idées de base du système ESPACE puissent s'appliquer à d'autres machines, voire à des travaux de conception dans d'autres disciplines (l'économie, par exemple).

II - LE PROJET : UNE NECESSITE PEDAGOGIQUE

II - 1 - Pourquoi apprendre à concevoir...

Que demande-t-on à un ingénieur ? H. A. Simon répond à cette

question [18] : "l'ingénieur est concerné par la façon dont les objets devraient être, afin d'atteindre leurs buts et de fonctionner". Nous voyons apparaître à travers cette citation les éléments caractéristiques de l'activité de conception.

- Définir des buts

Il est facile de ressentir un besoin ; il est déjà plus délicat de l'exprimer. Mais, si l'on veut le satisfaire, il faut prendre en considération l'environnement dans lequel on se trouve ; on peut alors définir avec précision le problème en termes de buts à atteindre, qui conditionnent les fonctions que devra remplir l'objet ou le système que l'on conçoit.

Prenons un exemple : on veut transformer l'énergie électrique produite par une centrale et transportée sous une tension élevée, pour l'amener chez un grand nombre d'utilisateurs sous une tension réduite. Voilà le besoin exprimé ! De ce désir au cahier des charges d'un transformateur, il reste à accomplir beaucoup de travail et à tenir compte de beaucoup de caractéristiques de l'environnement (les conditions d'utilisation, les contraintes économiques, les contraintes de normalisation, etc...). C'est ainsi que nous sommes conduits au deuxième point :

- Recenser les moyens...

Chaque concepteur dispose d'un certain nombre de moyens d'agir sur l'environnement, qui ont été élaborés peu à peu par d'autres (assembler des tôles pour conduire le flux dans le transformateur, utiliser des isolants qui remplissent des fonctions mécaniques, thermiques, etc...). Chacun de ces moyens est plus ou moins bien adapté au problème que le concepteur doit résoudre.

- Et assurer le lien entre les buts et les lois naturelles ^x

L'environnement de l'homme obéit aux règles des lois physi-

^x Le terme "lois naturelles", qui nous est venu le premier à l'esprit, semble prêter à confusion. Le sens dans lequel il faut l'interpréter est celui de "phénomènes physiques".

ques, et les objets qu'il conçoit ne peuvent y échapper. L'activité de conception consistera alors à assembler, à organiser les moyens pour atteindre les buts, en s'accommodant ou en profitant - suivant le cas - des lois naturelles.* Il est par exemple bien utile que le fer conduise le flux magnétique ; il est plus gênant pour celui qui conçoit un transformateur que les tôles soient le siège de pertes.

II - 2 - Ce que les étudiants apprennent

Rappelons les aspects essentiels que nous venons de distinguer dans le travail d'un ingénieur qui veut atteindre un but : connaître les lois naturelles*, posséder des moyens, savoir structurer ces moyens. Il semble logique de penser que l'enseignement dispensé aux futurs ingénieurs doit concerner ces trois points.

- Les lois naturelles *

Il suffit d'examiner le contenu et la forme de l'enseignement que reçoivent la plupart des élèves durant toute leur scolarité, et plus particulièrement dans les classes préparatoires aux Grandes Ecoles, pour être rassurés sur ce point. Ils ne manqueront pas de connaissances sur les lois naturelles*. Pour étudier celles-ci, ils ont à leur disposition une panoplie d'outils mathématiques (les modèles) qui est, sinon bien organisée, du moins bien fournie.

Des lois bien connues et abondamment illustrées, des méthodes d'enseignement éprouvées sont des atouts certains dans ce domaine. Parfois, quelques outils nouveaux (l'analyse numérique, par exemple) acquièrent droit de cité dans cette panoplie, mais le plus souvent après beaucoup d'hésitations.

- Les moyens

Nous avons considéré comme des "outils" soit des objets na-

* Cf. Recto.

turels ou artificiels (des matériaux, des produits manufacturés, etc...), soit des modèles d'analyse mathématiques ; c'est-à-dire des objets réels ou des concepts qui permettent d'appréhender et d'analyser l'environnement. Nous engloberons sous le terme "moyens" les méthodes d'utilisation de ces outils en vue d'atteindre des buts, c'est-à-dire afin de modifier l'environnement.

Nous abordons là un domaine beaucoup moins bien connu que le précédent, et par suite beaucoup moins facilement enseigné. Quelques cours sur les méthodes classiques d'optimisation (la programmation linéaire, par exemple), des cours plus complets sur les méthodes de calculs de machines... Tels sont les éléments du bagage que les étudiants reçoivent. Nous ne prétendons pas avoir fait une liste complète, loin de là ! Nous voulons simplement montrer la disproportion que nous constatons entre les deux aspects de l'enseignement que nous venons d'envisager.

- Savoir utiliser les moyens

Une grande partie de la scolarité est consacrée à apprendre à résoudre des problèmes. Voilà effectivement une activité essentielle, à laquelle les étudiants sont confrontés. Mais regardons de plus près quels types de problèmes leur sont proposés.

On constate tout d'abord qu'il s'agit principalement de comprendre les lois naturelles^{*}. La plupart des séances de travaux dirigés ou de travaux pratiques consistent à retrouver ou à illustrer des résultats théoriques, parfois à en étudier les limites. On obtient ainsi un renforcement de la connaissance des phénomènes physiques et de leurs modèles de représentation.

On peut dire que les problèmes qui sont alors soumis aux étudiants sont des "problèmes bien posés", par opposition aux "problèmes mal posés" que l'on rencontre dans la réalité. Développons cette affirmation.

* Cf. Page 7.

En général, un exercice proposé à des étudiants comporte un point de départ parfaitement clair, et une arrivée bien définie ; il se rapporte à une partie de cours, c'est-à-dire que les élèves ont une idée assez précise des outils et des moyens qu'ils peuvent utiliser pour le résoudre. Que leur reste-t-il à faire ? A joindre les deux extrémités, en suivant un chemin qui est pratiquement unique, puisque les moyens leur sont suggérés et que l'espace des solutions est très réduit : ils doivent trouver "la" bonne méthode pour arriver à "la" solution [19].

Or, quels sont les aspects d'un problème réel ? Essentiellement la prise de décision. Dans toute activité, on retrouve cette composante qui suppose un esprit inventif et un goût de l'initiative que l'on rencontre peu chez les élèves. Enregistrer des collections de faits, manipuler constamment des modèles dans des situations simplifiées à outrance finit par rendre les étudiants passifs. Certes, ils savent reproduire avec le maximum de fidélité et dans le minimum de temps ce qu'on leur a appris ; c'est ce qui "justifie" le "bachottage" à la veille des examens. Mais ensuite, ils n'ont pas une confiance suffisante en eux pour déplacer un appareil de mesure dans un montage de travaux pratiques.

II - 3 - Le projet : une panacée ?

Non ! simplement une phase de travail dans laquelle l'élève reste actif, car il est confronté à un problème sinon réel, du moins proche de la réalité. Le projet est certes un exercice, mais il a une toute autre dimension que les problèmes posés en travaux dirigés. Il ne s'agit plus seulement d'analyser (l'environnement), de comprendre (les phénomènes), d'apprendre (les lois physiques), mais d'utiliser cet acquis pour construire un appareil, pour agir sur l'environnement.

Dans un travail de ce type là, les étudiants découvrent eux-mêmes la méthode - ou les méthodes - qui leur permettront de progresser vers la conception d'un objet qui satisfasse les buts fixés. Comme de toute évidence l'espace des solutions possibles est alors très vaste,

ce sont des raisonnements en termes d'utilité qui les conduiront à déterminer des critères pour guider leur choix. Des considérations de standardisation, de normalisation, de calcul économique pourront entrer en jeu au fur et à mesure de leur progression pour rétrécir le champ des solutions possibles |20|.

Dans le cadre de ce travail, pour lequel il n'y a pas de limitation rigoureuse du temps disponible, les élèves sont conduits à un effort de documentation personnelle important. C'est souvent une des rares occasions qu'ils ont de prendre le chemin de la bibliothèque, ou même de rencontrer personnellement leurs professeurs. D'autre part, ils sont souvent amenés à reconsidérer des jugements portés un peu hâtivement à l'égard de matières "marginales", telles la résistance des matériaux ou la thermodynamique. C'est le moment où ils prennent le recul nécessaire par rapport à leur acquis théorique, pour organiser leurs connaissances et découvrir enfin l'utilité de posséder tant d'outils d'analyse.

Mais n'est-ce pas plutôt le rôle des premières années de la vie professionnelle que de donner l'expérience de la résolution des problèmes réels ? Nous pensons qu'au contraire, un esprit de synthèse, une aptitude à structurer des connaissances dispersées en une mosaïque de matières différentes est en grande partie une question d'attitude et d'approche. Il n'est jamais trop tôt pour développer un tel état d'esprit |19|. Bien au contraire, insister trop lourdement sur l'analyse risque, à la longue, d'endormir la faculté de synthèse nécessaire à toute création.

II - 4 - Plusieurs types de projets

Il existe une gamme étendue de projets qui remplissent les diverses fonctions que nous venons de citer. Il est intéressant de distinguer les projets fermés et les projets ouverts |21|.

Dans le cadre de ces derniers, on ne précise pas aux étudiants les moyens qu'ils peuvent utiliser. Ils possèdent leur propre bagage intellectuel, leur propre expérience parfois, et se trouvent devant un

problème à résoudre en petit groupe sous la conduite d'un enseignant. Ce travail requiert des connaissances technologiques et pratiques qui ne sont acquises qu'à la fin de la scolarité. Ce sont des projets dits "avec réalisation", qui consistent donc à concevoir, puis réaliser un appareil pour atteindre un certain nombre de buts.

Afin de ne pas attendre la dernière année de la scolarité pour développer un esprit de synthèse et une activité créatrice, un autre type de projet est proposé aux élèves dès leur deuxième année d'étude dans l'école (la scolarité est étalée sur trois ans). Il s'agit alors de concevoir un appareil conformément à un cahier des charges donné, mais dans un domaine beaucoup plus restreint que pour le cas précédent, et sans réaliser le dispositif conçu. On peut qualifier ce type de travail de projet fermé, car la plupart des moyens utilisables sont précisés aux élèves. Ceux-ci sont toutefois amenés à aborder des problèmes très variés, et à découvrir une méthodologie à travers leur réflexion. Ils doivent également se poser des problèmes d'optimisation, et faire intervenir parfois des contraintes supplémentaires pour réduire le champ des solutions possibles.

C'est dans ce contexte des projets de conception des machines électriques, où le système ESPACE a été développé, que nous allons poursuivre notre étude.

III - E S P A C E : UN ENSEMBLE DE SYSTEMES PEDAGOGIQUES POUR L'ASSISTANCE A LA CONCEPTION EN ELECTROTECHNIQUE

III - 1 - Position du problème

J. C. Latombe [17] a jeté les bases d'un système d'aide à la conception de machines, utilisable en enseignement. Pour mettre en application ses idées, il a choisi une matière précise : l'électrotechnique, et pour exemple un appareil suffisamment simple pour être efficace du point de vue pédagogique, et suffisamment complexe pour placer les

étudiants devant un véritable problème de conception : le transformateur de puissance triphasé. Avant de nous mettre à la place de l'étudiant pour examiner le fonctionnement du système, nous allons préciser les objectifs de celui-ci.

III - 2 - Principes généraux

- Le processus de résolution de problèmes

Dégageons les principales caractéristiques du processus de résolution de problèmes auquel conduit un travail de conception tel que nous l'avons décrit. La figure 1 présente un organigramme qui illustre les différentes étapes que l'on peut distinguer [22].

L'essentiel de l'activité consiste à définir un modèle de l'appareil [23], dont la simulation aboutisse à des résultats qui satisfassent le cahier des charges. On voit apparaître clairement la nature itérative de ce processus : en effet, dans la conception d'une machine électrique, on dispose d'un nombre de variables supérieur à celui des relations qui les lient entre elles. De plus, certaines de ces relations ne sont pas quantifiables, ou sont tellement complexes qu'il est difficile d'en tenir compte dans une représentation mathématique. Il faut donc procéder pas à pas et ajuster à chaque étape le modèle aux performances que l'on en attend. Chacune de ces modifications est la conséquence d'une décision, que le concepteur prend en fonction des critères qu'il s'est fixés et de l'expérience qu'il a acquise.

Nous en déduisons les deux aspects d'un tel travail. D'une part, l'activité du concepteur est permanente. Il doit déterminer des critères pour estimer les performances obtenues, prendre les décisions qui le conduisent à améliorer son modèle, etc... D'autre part, la nature itérative du processus entraîne d'inévitables répétitions de calculs plus ou moins longs suivant la finesse des représentations mathématiques choisies. Ces opérations sont d'autant plus fastidieuses que l'appareil est plus complexe, et que le projet est dans un état d'avancement plus grand.

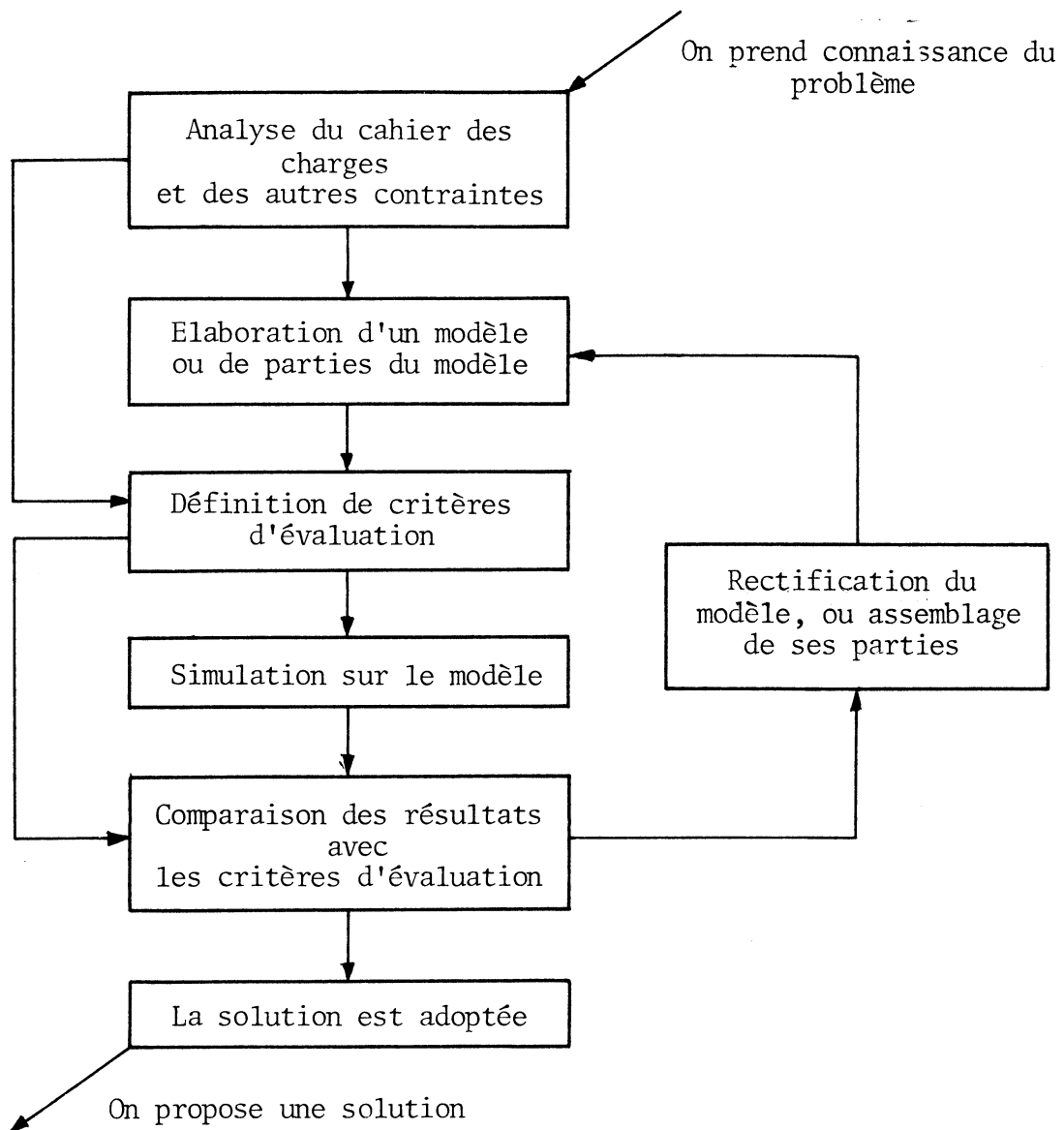


Figure 1 : processus de résolution de problème

- La nature des outils que propose ESPACE

Comment supprimer le caractère fastidieux des tâches répétitives et mécaniques ? En donnant au concepteur des outils sous forme de commandes simples qui lui permettent :

- de décrire les diverses parties de son appareil,
- de spécifier les valeurs numériques affectées à certains paramètres,

- de faire exécuter des calculs,
- de choisir un mode de présentation des résultats.

Bien qu'il se serve d'un ordinateur, l'utilisateur d'ESPACE dispose d'un langage suffisamment simple pour ne pas rencontrer les difficultés d'apprentissage d'un langage de programmation [24]. On peut dire que chacune des commandes ainsi définies provoque l'exécution par le système d'une "tâche élémentaire". La figure 2 montre, qu'alors, le concepteur reste maître du processus ; il reste actif tout au long de son travail, car c'est lui qui prend les décisions importantes.

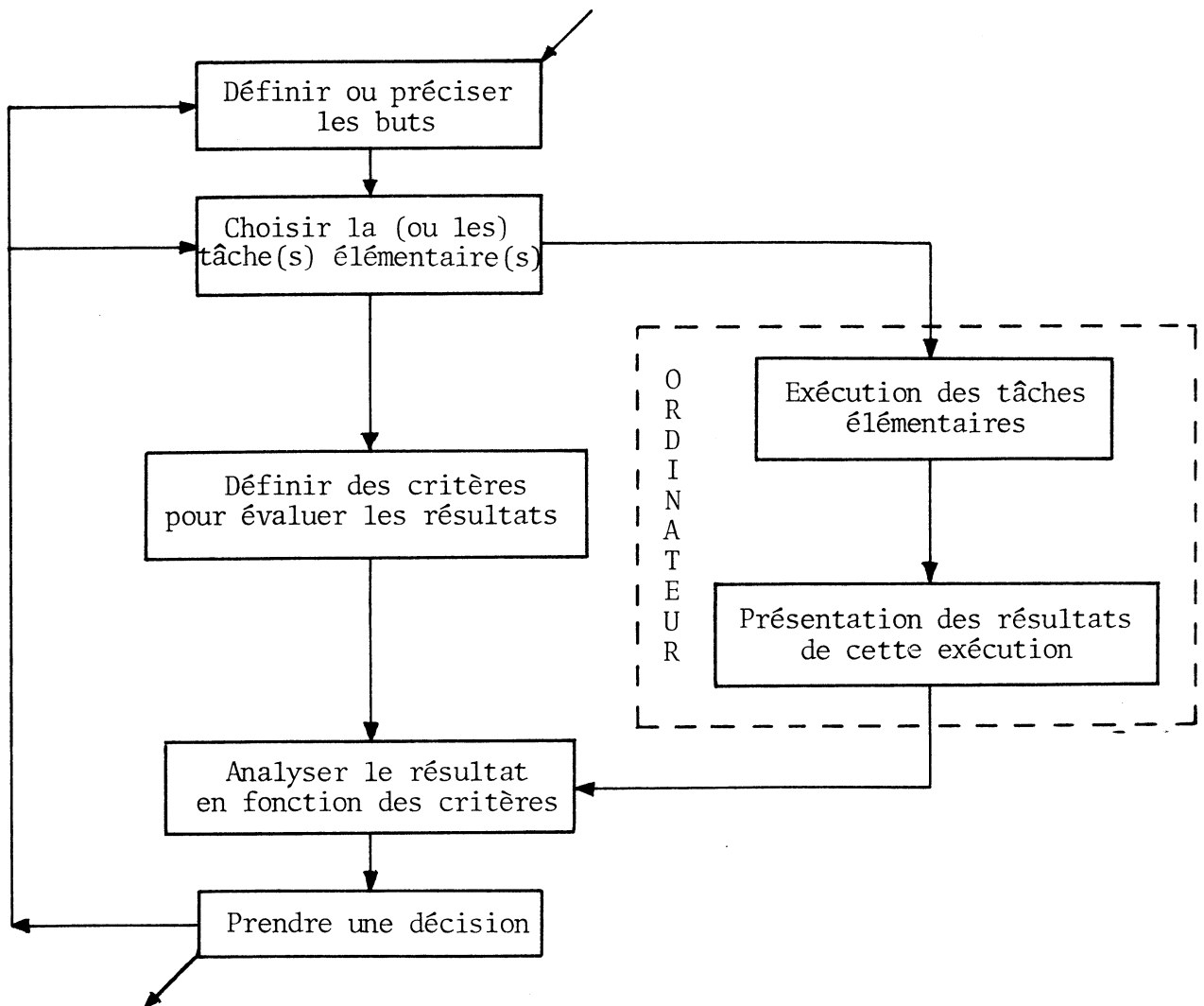


Figure 2 : schéma d'utilisation d'ESPACE pour un travail de conception

III - 3 - Fonctionnement d'ESPACE

Regardons de quelle façon on peut mettre en oeuvre ces outils que le système ESPACE propose aux élèves. Nous l'avons représenté très schématiquement sur la figure 3.

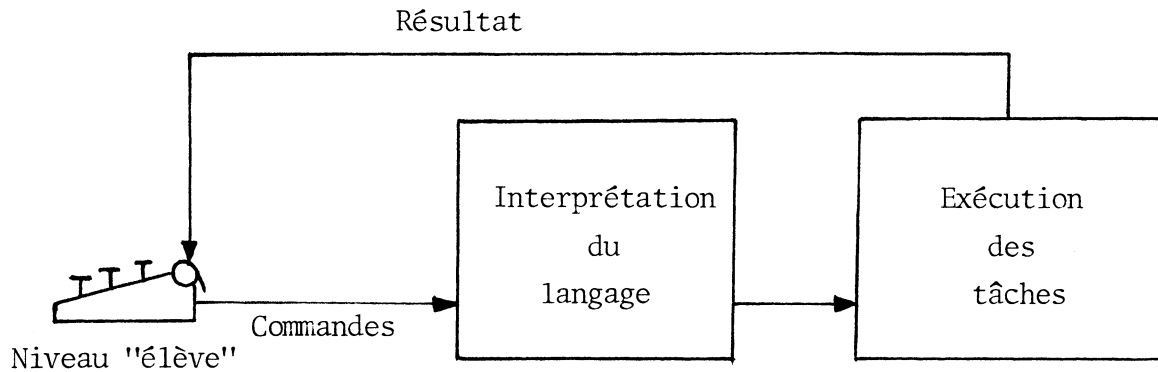


Figure 3 : schéma de fonctionnement d'ESPACE (aspect superficiel)

L'étudiant tape ses commandes sur un terminal ; celles-ci sont interprétées par un premier programme. Si la syntaxe de la commande est correcte, les programmes d'exécution de la tâche demandée sont mis en oeuvre, et le résultat de l'exécution est alors présenté à l'utilisateur. Deux composants essentiels de ce processus apparaissent : le langage de commande, et la nature des tâches élémentaires.

- La rédaction des commandes

Comment décrire le circuit magnétique de la figure 4 ? Un observateur répondra : "Le circuit magnétique CM est constitué de trois noyaux identiques N1, N2 et N3, et de deux culasses C1 et C2. Les joints entre les tôles des noyaux et des culasses sont à 45°". Suivront alors des considérations sur les propriétés des tôles, les dimensions géométriques des éléments, etc...

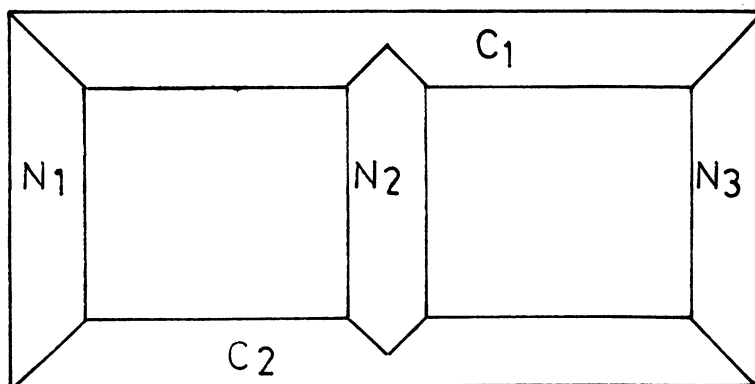


Figure 4 : circuit magnétique CM

Comment fera l'utilisateur d'ESPACE ? Il tapera :

CREER (un) CIRCUIT MAGNETIQUE (de nom) CM ;
CREER (un) NOYAU (appelé) N1 ;
CREER (deux) NOYAUX N2 (et) N3 IDENTIQUES (à) N1 ;
CREER (une) CULASSE C1 ;
CREER (une) CULASSE C2 IDENTIQUE (à) C1 ;
(les) ELEMENTS (de) CM (sont) N1, N2, N3, C1, C2 ;
ENTRER (la valeur des) JOINTS (du circuit magnétique) CM 45 (°) ;

Si vous désirez aller plus vite, supprimez les mots que nous avons mis entre parenthèses, et ne tapez que les trois premières lettres de chaque mot-clé (que nous avons soulignées) : vous aurez des commandes reconnues par l'interpréteur de langage. Donc, une syntaxe rigoureuse, mais une rédaction très compréhensible au lecteur averti, en un style de français "télégraphique".

L'interpréteur de langage remplit une fonction de filtrage : il rejette les commandes dont la syntaxe est fautive. Les erreurs sont alors indiquées à l'utilisateur, qui peut ainsi les corriger plus facilement.

- Les tâches que l'on peut faire exécuter

Au niveau de la description qualitative de l'appareil, les principales contraintes qu'ESPACE impose sont : décrire un transformateur triphasé à trois colonnes identiques dans un même plan, reliées par deux culasses identiques, dans une gamme de puissance qui s'étend de 20 à 2 000 KVA environ. Il existe d'autres restrictions de moindre importance (impossibilité de décrire un montage Zig-Zag, par exemple). Mais aucune autre précision n'est donnée quant à la constitution de la machine.

Le système ESPACE doit donc s'adapter à chaque description particulière que font les élèves. Du fait du grand nombre de cas compatibles avec les normes que nous venons d'énoncer, il n'était pas possible de prévoir tous les modèles nécessaires. Aussi, J. C. Latombe a-t-il été amené à concevoir un modèle qui se conforme aux diverses solutions choisies par les élèves, de manière dynamique, pour respecter l'évolution de leur travail. C'est ce que l'on peut nommer le "modèle potentiel" de la machine.

Dans le modèle potentiel du transformateur, que nous présentons sur la figure 5, on distingue un certain nombre "d'entités" (le transformateur, le circuit magnétique, le bobinage, le noyau, l'enroulement, ...) liées entre elles par des "liaisons" de hiérarchie ou d'association (élément, autour, accoler, matériau, ...).

Lorsqu'un utilisateur décrit une machine, il crée des réalisations de ces entités et de ces liaisons. C'est ainsi que l'on définira la galette représentée sur la figure 6 par la séquence de commandes :

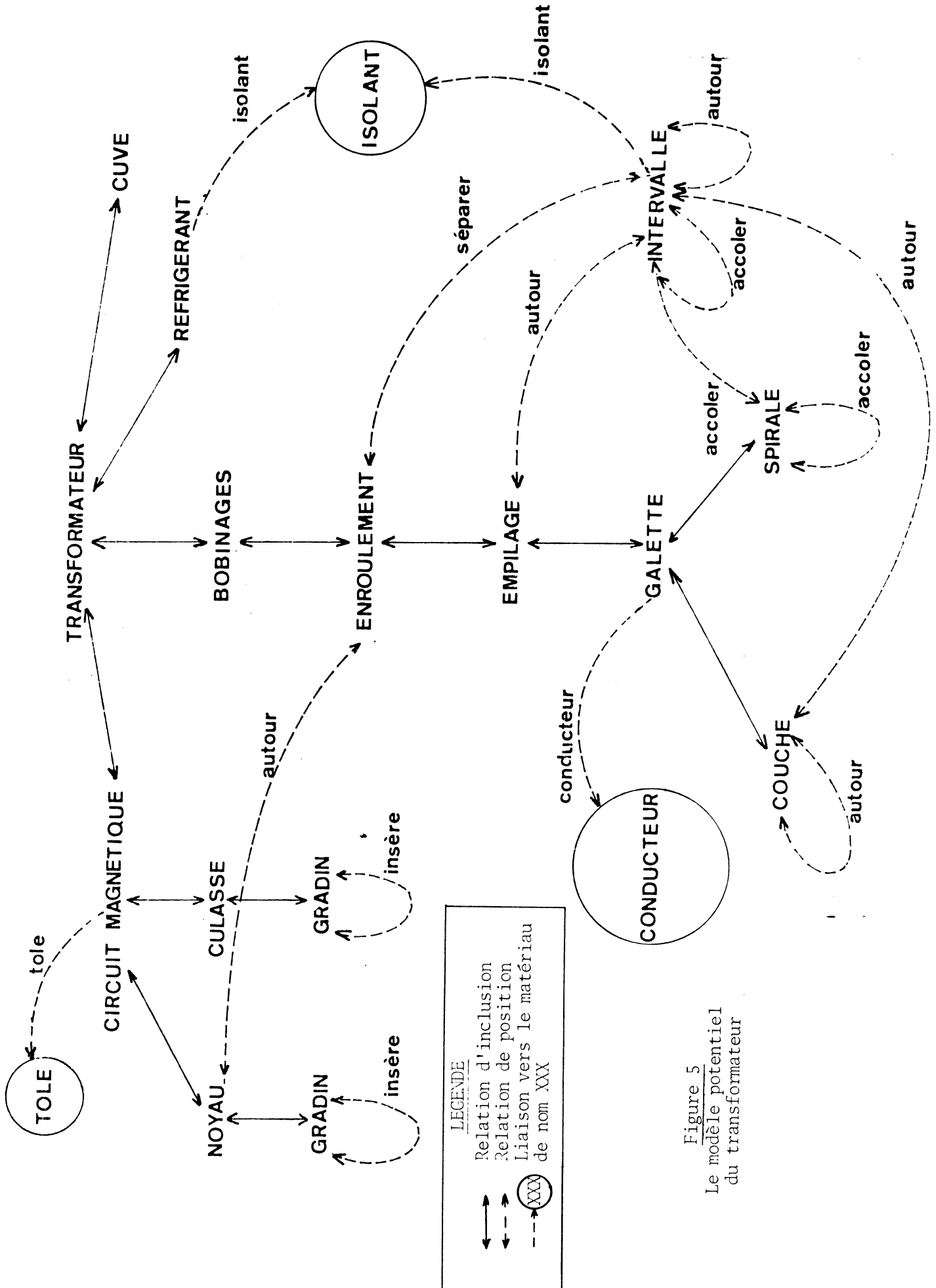


Figure 5
Le modèle potentiel
du transformateur

←CREER GALETTE GA1 ;
OK

←CREER COUCHE C01 ;
OK

←CREER COMPOSANT C02 IDENTIQUE C01 ; CREER COMP. C03 IDENT. C01 ;
OK
OK

←CREER INTERVALLE I1 ; CREER COMPOSANT I2 IDENTIQUE I1 ;
OK
OK

←AUTOUR C01 , I1 , C02 , I2 , C03 ;
OK

←ELEMENT GA1 C01 ;

GA1	C02	MESS3
GA1	C03	MESS3
OK		

Le message 3 indique que C02 et C03, qui sont reliées à C01 (par l'intermédiaire des intervalles I1 et I2) sont mises automatiquement dans la galette GA1.

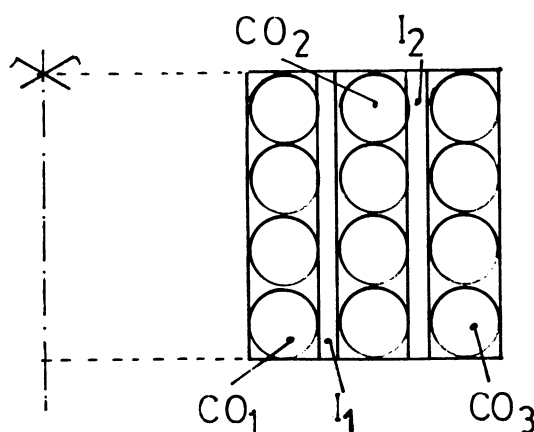


Figure 6 : la galette GA1

On dispose ainsi d'un véritable jeu de construction pour créer, assembler, séparer, détruire rapidement les éléments d'un formateur.

Les paramètres quantifiables sont rangés en deux groupes : les hypothèses laissées à l'appréciation de l'utilisateur (les données que l'on peut "entrer"), et les conséquences calculables à partir de ces données, conformément aux lois physiques . Un paramètre ne peut être à la fois considéré comme une donnée et comme une conséquence ; le choix est fait une fois pour toutes par le réalisateur du système - nous reviendrons sur ce point au chapitre III lorsque nous parlerons de la "pré-détermination" -. Le lecteur trouvera en annexe (Annexes 1 et 2 respectivement) la liste des données et celle des conséquences calculables.

L'exécution de chaque calcul demandé au système se fait à partir du niveau des données. C'est dire que tous les calculs intermédiaires nécessaires pour obtenir un résultat final sont refaits à chaque commande de CALCUL. Ceci pour tenir compte d'éventuels changements non seulement pour les données, mais aussi dans la structure du transformateur, que l'élève peut modifier à tout moment. Celui-ci peut avoir accès à la liste des résultats intermédiaires (la trace du calcul) qui devient souvent un outil d'analyse appréciable. Nous donnons ci-dessous un exemple du calcul de l'induction dans un noyau, tiré d'un projet d'étudiants :

```
←CALCULER INDUCTION N1 ;
INDUCT.                N1                1,79171E 00

←TRACE ;
NOMBRE    SPIRES          GAL1          6,39999E 02
NOMBRE    SPIRES          PRIM.    EMP1          1,27999E 03
NOMBRE    SPIRES          PRIM.    EMP2          0,00000E 00
TENSION   PRIM.          PHASE    B0            1,00000E 04
NOMBRE    SPIRES          PRIM.    ENR1          1,27999E 03
TENSION   PAR            SPIRE    N1            7,80640E 00
SECTION   FER            N1            1,63442E-02
FLUX      N1            2,92842E-02
INDUCT.   N1            1,79171E 00
```

Dans cette présentation générale, nous ne nous étendrons pas sur les autres tâches qu'ESPACE peut exécuter à la requête de l'élève. Il s'agit surtout de points de détails dans l'utilisation du système, dont on trouvera la présentation dans le Manuel d'Utilisation |25|.

- La détection des erreurs

Avant l'exécution de chaque commande, des contrôles sont effectués par le système afin de détecter si les conditions de mise en oeuvre de la tâche concernée sont remplies. On peut dire que les élèves commettent deux sortes d'erreurs : des fautes d'étourderie, vite rectifiées, et des erreurs plus importantes qui apparaissent le plus souvent lorsqu'ils abordent les calculs.

Dans ce dernier cas, ESPACE vérifie systématiquement si la structure du transformateur décrit et les données entrées sont compatibles avec le calcul demandé. Si les hypothèses précisées par les élèves ne correspondent pas à celles des algorithmes de calcul, un message est édité et la commande n'est pas exécutée. L'utilisateur peut alors soit modifier ses hypothèses, soit se tourner vers un outil autre qu'ESPACE pour résoudre son problème particulier qui sort des limites prévues.

III - 4 - Les principes de réalisation d'ESPACE

La présentation que nous venons de faire nous permet de dégager les principes pédagogiques que J. C. Latombe a posés lors de son étude |17|.

- "Des communications entre l'élève et l'ordinateur qui soient commodes, efficaces et naturelles". C'est-à-dire un langage de commande simple, qui ne nécessite pas d'apprentissage trop long, et une présentation soignée des résultats, où le support technologique (le terminal) favorise la transmission de l'information.

- L'initiative est laissée à l'utilisateur, qui "doit garder à tout moment le contrôle absolu de son projet". Le système ne doit prendre aucune décision dans le déroulement du projet, ni conduire la réflexion de l'élève. Simplement, lui donner des éléments pour comprendre et agir. N'oublions pas que ces conclusions sont liées au contexte de la formation d'ingénieurs à une activité de conception ; il en irait tout autrement dans d'autres situations où l'on chercherait à faire acquérir des connaissances, plutôt qu'à placer l'élève dans une situation où il doive les appliquer. Notons que, dans notre cas, "l'utilisation du système doit être particulièrement bien adaptée aux natures itérative, hiérarchisée et associative de la conception de projet", que l'on retrouvera sur les figures 1 et 5.

- ESPACE "n'apporte pas de contraintes ou de limitations autres que celles relatives à la nature du projet à élaborer". Il laisse les élèves libres de choisir l'ordre dans lequel ils décrivent leur machine, les conditions dans lesquelles ils simulent son fonctionnement.

- Toutefois, pour que le système puisse "obtenir la confiance de l'élève", une détection précise des erreurs et des incohérences doit être effectuée. Editer des messages clairs au bon moment, sans pour autant gêner les utilisateurs en devenant fastidieux est une des fonctions essentielles d'un système tel qu'ESPACE.

IV - LA PREMIERE REALISATION D'ESPACE

Sur les bases que nous venons d'énoncer, J. C. Latombe a réalisé un premier système d'aide à la conception en électrotechnique, appliqué au projet de calcul de transformateurs. Ce travail a eu lieu à l'E.N.S.E.G.P. de Grenoble ; les programmes, écrits en langage PL1, ont été implantés sur l'ordinateur IBM 360/67 du Centre Interuniversitaire de Calcul de Grenoble. Les systèmes de partage de temps et de conversation CP et CMS ont permis de tirer un grand profit du caractère très interactif d'ESPACE. Les terminaux utilisables étaient soixant

une console Télétype à imprimante, soit un terminal graphique ; ces appareils sont connectables à distance à l'ordinateur par une ligne téléphonique.

Le but essentiel de ce travail était de vérifier qu'un tel système est réalisable. Il a permis également de définir et de mettre au point un certain nombre d'outils informatiques tels que l'interpréteur-générateur du langage de commande |24|, et les programmes de gestion de mémoire.

Il restait une phase importante de la mise au point d'un matériel à des fins pédagogiques : la validation. Celle-ci doit porter aussi bien sur le fonctionnement propre du système que sur les objectifs pédagogiques sous-jacent. C'est ce travail que nous avons entrepris sur le "prototype" de J. C. Latombe, et dont nous allons présenter maintenant les modalités et discuter les principaux résultats.

C H A P I T R E I I

LA PREMIERE EXPERIMENTATION DU SYSTEME

I - LE DEROULEMENT DE L'EXPERIMENTATION

I - 1 - Ses objectifs

La mise en place et l'utilisation d'un outil tel que le système ESPACE étaient pour nous des problèmes totalement nouveaux, et nous avons été conduits à orienter nos observations dans plusieurs directions.

Grâce au travail des étudiants sur le système, nous avons pu tester la fiabilité des programmes, afin de corriger les erreurs et les imprécisions qui subsistaient. Nous avons voulu que le soin apporté à la présentation des résultats et la rigueur des messages d'erreurs ne laissent aucun doute dans l'esprit des élèves sur les causes d'un résultat qui leur semble inattendu ou aberrant. Il est certain que le système avait fait l'objet de tests approfondis avant sa mise en service ; toutefois, le caractère dynamique de l'enchaînement des programmes modulaires interdit de faire tous les contrôles possibles de façon exhaustive. Il reste toujours des cheminements nouveaux dans le graphe des décisions que l'élève peut prendre lorsqu'il décrit son modèle, et seul un grand nombre de travaux différents permet de les explorer.

D'autre part, en utilisant ESPACE, les étudiants se sont trouvés confrontés à un matériel totalement nouveau pour eux, à la fois sur le plan technologique et sur celui de la méthodologie de travail. Il

était donc particulièrement important d'observer leurs réactions dans cette situation où ils étaient obligés de réfléchir et de formuler clairement leur problème avant de prendre des initiatives.

Cette remarque nous amène au troisième point, qui est l'examen critique de la manière dont ont été appliqués les principes pédagogiques sur lesquels repose le système. Il arrive fréquemment que la réalisation d'une idée dans un appareil ou un système réel donne des résultats très différents de ceux que l'on escomptait, particulièrement dans le domaine pédagogique. Les objectifs que l'on se fixe dépendent de facteurs qui se modifient d'une année à l'autre, ou qui évoluent au cours de la scolarité d'un même individu [26]. Il est donc nécessaire de distinguer ce qui est inhérent au projet pédagogique que l'on a défini, et les variables qui dépendent des élèves eux-mêmes.

I - 2 - Les moyens utilisés

Le choix des étudiants

Afin de comparer les comportements des étudiants selon les diverses méthodes de travail qui leur sont proposées, trois sous-ensembles ont été définis. Sur une promotion de quatre vingt personnes environ, la répartition a été :

- Douze ont choisi des projets à caractère informatique, c'est-à-dire orientés vers l'écriture de programmes de calcul et d'optimisation. Cette possibilité existait depuis plusieurs années déjà.

- Vingt ont travaillé à l'aide du système ESPACE, constituant ainsi ce que nous pouvons appeler une "classe cobaye".

- Les autres nous ont fourni des informations relatives à une "classe témoin", car ils étaient placés dans les conditions de travail traditionnelles (calcul à la règle ou à la machine de bureau).

Cette répartition devait nous permettre de distinguer l'apport spécifique du système ESPACE par rapport à l'évolution normale des étudiants au cours de leur scolarité.

Nous avons pu prendre une telle décision, car nous savions que le risque que nous faisons courir à la "classe cobaye" était minime. En effet, il ne s'agissait que de l'utilisation d'un outil nouveau, qui ne compromettait ni ne perturbait la nature même du projet. Tout au plus risquait-on de s'apercevoir que l'outil était trop lourd à manier, et qu'il répondait mal à ses objectifs. Une telle expérience ne pouvait qu'être profitable à ceux qui la faisaient, car le travail qu'ils devaient investir était de même nature que pour une méthode plus classique, et ils pouvaient toujours reconvertir leur manière de travailler.

Toutefois, conscients que nous risquions de demander un effort particulier à ces étudiants, nous avons fait appel à des volontaires, en leur expliquant au préalable les objectifs du système, les modalités de l'expérience, et les risques éventuels qu'ils couraient. Il est intéressant de mentionner à cette occasion l'intérêt que cette expérience a suscité parmi les élèves, et leur participation active à tout ce que nous leur avons demandé, ce qui peut être très encourageant pour d'autres innovations pédagogiques.

Le fait que seuls des étudiants volontaires viennent travailler sur le système ESPACE nous a contraints à définir un moyen de vérifier la représentativité du groupe cobaye par rapport au groupe témoin. Nous incluons dans cette dernière classe les élèves qui choisissent un projet avec programmation, car notre propos n'est pas de dégager les particularités de ce mode de travail, mais simplement de situer l'apport d'ESPACE.

Un test initial

A cette fin, nous avons élaboré un test que nous avons proposé à l'ensemble de la promotion de deuxième année. Il faut noter que là

aussi, nous avons sollicité la bonne volonté des étudiants, car nous ne pouvions - ni ne voulions - les contraindre à y participer. Plus des deux-tiers de la promotion ont accepté de répondre à nos questions, nous fournissant ainsi un échantillon que nous avons pu considérer comme suffisant, compte tenu de nos ambitions limitées dans ce domaine. Ce test comprenait trois familles de questions :

- des points théoriques d'électrotechnique générale, avec quelques questions relatives aux transformateurs.
- des problèmes plus techniques sur la construction des transformateurs.
- et enfin des questions plus particulièrement orientées vers la méthodologie de la conception de projets.

Aucune préparation spéciale n'était demandée, car nous voulions cerner chez les étudiants un état plutôt qu'une capacité de mémorisation, ce qu'auraient pu nous fournir aisément les résultats du contrôle des connaissances pratiqué dans l'école.

Les résultats de ce test - que nous discuterons ultérieurement - ont pu être pondérés par l'examen des origines scolaires des élèves (préparation théorique de Mathématiques Spéciales, D.U.E.S. de faculté, promotion supérieure du travail), par les résultats qu'ils avaient obtenu dans certaines matières en première année, ainsi que par l'appréciation de certains enseignants, en ce qui concerne les travaux pratiques en particulier.

Un test final

De la même façon, nous avons tenté de comparer par un test l'apport du projet suivant les trois manières de l'aborder. Nous l'avons proposé aux étudiants à la fin de leur travail, rencontrant là une

audience moins favorable à cause de la proximité des examens. Toutefois, nous avons pu considérer comme suffisant le nombre des réponses (60 % environ de la promotion) et en tirer quelques enseignements. Le contenu du test était différent du premier en ce qu'il insistait surtout sur les problèmes de méthodologie, afin de déterminer comment les élèves avaient situé leur projet dans la scolarité, et s'ils avaient pu l'envisager autrement que comme un simple problème de calcul.

La soutenance des projets

Un autre élément de jugement nous était donné par la soutenance des projets. En effet, lorsque les élèves estiment que leur calcul est terminé, ils rédigent un rapport dans lequel ils présentent la solution qu'ils proposent, justifient les choix qu'ils ont faits et mettent en valeur leur travail. Ce rapport est communiqué à l'enseignant responsable du projet, qui invite alors les étudiants à le soutenir oralement. Nous avons eu la possibilité d'assister à plusieurs de ces examens, tant pour des élèves qui avaient travaillé avec le système ESPACE que pour d'autres. A cette occasion, ont pu être formulées des critiques intéressantes sur la validité de certaines formules utilisées dans les algorithmes, les approximations et les coefficients empiriques qui avaient été choisis, ainsi que sur la présentation de certains résultats et le vocabulaire des commandes. D'autre part, nous avons pu comparer la manière dont les élèves répondent aux questions qu'on leur pose sur leur projet suivant les outils qu'ils ont utilisés lors de leurs calculs.

L'observation directe

Il reste maintenant à aborder une question essentielle : l'observation du comportement des élèves placés devant le système. Il ne s'agit plus d'obtenir ni d'interpréter des résultats ponctuels, tels que ceux d'un test ou d'un examen oral, mais de trouver un moyen de suivre des réactions en constante évolution. Il est souvent difficile de déterminer si les constatations que l'on peut faire en regardant les

étudiants travailler sont réellement objectives, car un observateur perturbe toujours par sa présence le groupe dans lequel il se trouve |27|. Dans ce cas particulier, il était nécessaire de faire la part des indications relatives à l'utilisation du système, des renseignements sur le transformateur, et enfin des indices spontanés qui pouvaient révéler la façon dont les élèves se situaient par rapport à ESPACE. Il est toujours délicat alors pour l'observateur de faire la part de sa propre subjectivité, surtout lorsqu'il est lui-même l'un des initiateurs de l'expérience |28|.

D'autre part, la conscience de participer à une expérience peut influencer notablement le comportement et les impressions des sujets eux-mêmes ; c'est le phénomène bien connu sous le nom d'effet Hawthorne |27|. Nous avons essayé de réduire au maximum le poids de cette observation directe du travail des élèves en ne passant que des instants très brefs - mais nombreux - dans leur salle de travail, interventions qui étaient pleinement justifiées par les questions qu'ils avaient à poser sur des problèmes techniques. Nous avons très rapidement senti un climat de confiance dans la manière dont la plupart des étudiants discutaient, critiquaient ou suggéraient certaines modifications. Le travail était facilité par le caractère technique des sujets de discussion ; ils n'avaient pas à donner d'emblée une impression générale, mais plutôt à réfléchir sur des problèmes particuliers à la suite de leur propre expérience.

Une enquête régulière

Enfin, pour libérer certains élèves de l'appréhension - très réelle, même à ce niveau des études - devant une expression orale, nous leur proposons à chaque séance de travail un questionnaire très bref, dans lequel ils pouvaient consigner leurs remarques. De nombreux détails ont ainsi pu être améliorés tout au long de l'expérience.

I - 3 - L'environnement pédagogique du projet et du système

Les connaissances

Le projet de calcul de machines électriques est proposé aux étudiants lorsqu'ils ont acquis un bagage de documentation et de connaissances suffisant [29]. On peut définir deux axes importants dans la scolarité qu'ils ont suivie : la connaissance de modèles, et celle de la réalité. En ce qui concerne le premier point, outre la formation en mathématiques et en physique générale qu'ils ont reçue dans les classes préparatoires, ils ont suivi un certain nombre de cours d'électrotechnique, manipulé des modèles particuliers pendant les séances de travaux dirigés, et discuté l'adéquation de ces modèles aux phénomènes physiques pendant les travaux pratiques. Par contre, pour la plupart d'entre eux, les connaissances techniques sont venues très tardivement. Elles ont été acquises d'une part lors d'un cours de calcul de machines, intermédiaire entre l'apprentissage de la théorie et l'expérience qu'ont les concepteurs dans l'industrie, où des coefficients empiriques remplacent souvent des équations trop complexes, et d'autre part grâce à un cours de construction de machines, qui traite des problèmes technologiques et les illustre par quelques visites d'usines.

Pour compléter toutes ces informations, les élèves ont accès à une documentation aussi bien théorique que pratique (problèmes de normalisation par exemple) et sont encadrés par l'enseignant devant lequel ils rendront compte de leur travail.

La constitution de groupes

Avant d'aborder les conditions plus particulièrement liées à l'utilisation du système ESPACE, il faut signaler que le projet se fait par groupes. La taille la plus généralement admise est le trinôme, qui se retrouve également pour les travaux pratiques.

De plus, le projet de calcul de machines est complété par une étude particulière demandée aux étudiants, qui est essentiellement destinée à leur faire aborder une recherche bibliographique.

Pour cette première expérimentation du système, nous avons voulu étudier l'influence de la taille des groupes sur le travail que chacun peut réaliser. C'est pourquoi nous avons demandé aux étudiants de se répartir en trinômes et en binômes, et même à certains de rester seuls. La taille maximale a été limitée au trinôme, car au-delà, ce type de projet est insuffisant pour que chacun des membres du groupe y prenne une part active.

Une formation à l'utilisation du système

Afin de pouvoir utiliser de manière efficace un système tel qu'ESPACE, une initiation préalable était nécessaire. Tout d'abord, chaque étudiant a reçu un manuel d'utilisation, qui comportait :

- un rappel de cours de construction et de calcul des transformateurs.
- une liste des commandes disponibles dans le système.

De plus, une présentation orale des principes de fonctionnement d'ESPACE a été faite. Il ne s'agissait pas de faire un cours général, mais de situer dans l'environnement plus vaste du système CP/CMS les diverses commandes et instructions que les élèves devaient utiliser.

Enfin, une brève séance de présentation des terminaux s'est avérée nécessaire, car chacun de ces appareils remplit des fonctions particulières qu'il faut connaître.

Il restait à définir le nombre des séances de travail sur les consoles, leur durée et leur répartition dans la semaine. Nous avons laissé les groupes entièrement libres de gérer leur emploi du temps, et ceci pour deux raisons :

La première était que nous manquions d'éléments pour déterminer ces divers paramètres. Une estimation nous avait permis de donner une idée de ce qui pouvait se faire, sans nous fournir les moyens de conseiller un emploi du temps précis.

La seconde raison est la plus importante : nous voulions placer les étudiants dans une situation réelle d'utilisation d'un outil, c'est-à-dire en fonction des disponibilités du matériel, et non par rapport à un emploi du temps arbitraire.

II - LES PREMIERS RESULTATS

Nous allons présenter maintenant les principaux résultats obtenus à la suite de la première année de fonctionnement effectif du système. Nous ne chercherons pas à généraliser nos conclusions - ce sera l'objet du chapitre IV de ce mémoire -, mais notre objectif est de dégager les points essentiels qui nous ont permis de définir des axes de travail relativement à ESPACE.

Le test initial

Il nous a fourni des informations intéressantes, et ceci dans deux domaines.

- D'une part, nous avons constaté que la moyenne des notes du groupe "cobaye" était très proche de celle du reste de la promotion, la légère différence provenant certainement de la présence dans le groupe témoin d'étudiants issus du domaine technique. Il est à noter que ces derniers ont montré une certaine crainte vis-à-vis de notre système, justifiée par les difficultés qu'ils éprouvent pour s'adapter à l'ambiance générale de la scolarité.

La répartition des notes autour de la moyenne était très comparable entre les deux classes d'étudiants ; nous avons ainsi pu conclure sans grand risque à la bonne représentativité du groupe "cobaye".

Toutefois, il ne faut pas oublier que tous les étudiants de ce groupe étaient des volontaires, ce qui limite la portée de certaines observations que nous avons pu faire, en particulier sur le caractère motivant de cette nouvelle forme de travail.

- D'autre part, les résultats de ce test ont confirmé que si les étudiants sont à l'aise sur des questions théoriques, ils sont en revanche beaucoup moins sûrs d'eux sur des problèmes qui touchent la pratique. Parfois même, on va jusqu'à dénoter une certaine désaffection vis-à-vis de ce qui s'apparente à la technologie, ce qui peut devenir inquiétant dans la formation d'ingénieurs ! Dans ce domaine, le projet peut apporter beaucoup.

Le rythme de travail |29|

Il est apparu très rapidement que la taille optimale pour les groupes est le binôme. En effet, nous avons fait plusieurs remarques dans ce sens :

- L'ordinateur travaille vite, et exige un effort de concentration constant. Cet aspect 'fatigue' du travail sur une console est très important, et nous a conduit à conseiller par la suite des séances d'une durée maximale de deux heures. Par conséquent, les élèves qui travaillent seuls ont beaucoup de mal à suivre le rythme.

- L'utilisation du système requiert, surtout au début du projet, de nombreuses recherches dans le manuel pour préciser des termes de vocabulaire ou les syntaxes des commandes. De plus, il est souvent utile que l'un des membres du groupe prépare et tape les commandes, alors que l'autre peut réfléchir pour faire la synthèse des résultats.

- D'une façon plus générale, nous avons remarqué une double interaction lors du travail des binômes : une relation entre chaque étudiant et le système, et une relation entre les deux membres du groupe. Cette double interaction est très bénéfique à la fois sur le plan

d'échange d'informations, et pour développer l'aptitude à la discussion sur un problème précis.

En effet, avant qu'une commande puisse être envoyée au système, il faut avoir posé de façon claire le problème que l'on veut résoudre ; le résultat de la commande permet alors d'évaluer si l'idée de départ était correcte. Par conséquent, les étudiants sont progressivement amenés à clarifier leurs propres idées au cours de fréquentes discussions, avant de pouvoir les exprimer suivant les règles exigées par ESPACE.

- Par contre, dans le cas du travail de trinômes, nous avons remarqué fréquemment un partage des tâches entre les membres du groupe, qui se traduit souvent par un "roulement" pour assurer le travail, et non pas par un véritable esprit de groupe.

Précisons enfin, pour fixer les idées, que nous avons évalué grossièrement à vingt cinq heures le temps moyen nécessaire pour terminer un projet sur la console. Pour avoir une idée de l'importance de ce travail pour un groupe, il faut y ajouter quinze à vingt heures de travail "hors console" pour analyser le problème et réfléchir sur les résultats obtenus pendant les séances d'utilisation du système.

L'utilisation du système

Le langage de commande n'a pas posé de problème particulier de compréhension et d'utilisation, ce qui est un résultat très encourageant. Le style "français télégraphique" a été bien apprécié par les utilisateurs, et de ce fait la rigueur de la syntaxe n'a pas été ressentie comme une gêne. Ainsi, la phase d'apprentissage du langage a été très courte. A titre d'exemple, disons que la plupart des étudiants pouvaient travailler efficacement dès leur deuxième séance sur la console. Seuls, quelques problèmes de définition des termes à employer ont pu les gêner.

Ceci nous conduit à examiner le problème plus général de la constitution par les élèves d'un modèle de leur machine suffisamment précis pour qu'ils puissent le décrire avec une formalisation compatible avec le système. En effet, si de nombreux groupes ont commencé dès le début à raisonner sur le problème électrotechnique, en se servant d'ESPACE comme d'un outil, quelques autres ont eu beaucoup de mal à s'affranchir du poids de la nouveauté. Pire, certains étudiants attendaient que le système soit un guide qui leur montre la solution, non pas tant pour ce qu'ils estimaient être leur problème (c'est-à-dire le calcul, l'application des formules), mais pour sortir d'un sentiment d'insécurité dû à l'absence de direction précise à suivre. Il nous est arrivé souvent d'entendre des élèves poser la question : "Monsieur, j'ai tout décrit, qu'est-ce que je dois faire maintenant ?" L'utilisation du système les a peu à peu amenés à définir des objectifs et à prendre des initiatives pour les atteindre.

Si le langage de commande a été bien accueilli, par contre la familiarisation avec la technologie a posé de graves problèmes. En effet, à cette époque, la plupart des élèves n'avaient jamais utilisé ni un ordinateur ni une console, et le simple fait d'avoir à brancher la ligne entre le terminal et l'ordinateur les arrêtait. Le caractère inhabituel de ces conditions de travail était doublé par "l'ésotérisme" de certaines des commandes et des messages inévitables du système CP/CMS. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point dans le chapitre IV.

Ces observations nous ont permis de conclure que, même à ce niveau d'études - et peut être justement parce que l'on s'adresse à des adultes -, l'ordinateur représente encore, soit un ensemble complexe et fragile que l'on peut briser par une fausse manoeuvre, soit au contraire un symbole d'autorité [30].

Après le projet...

Au vu du test final et de la soutenance des projets, nous avons constaté des différences sensibles dans les réactions des étudiants, en

fonction des outils qu'ils avaient utilisés. En particulier, on peut dire que :

- Les élèves qui ont travaillé de manière classique ont acquis une certaine connaissance des formules et des coefficients empiriques utilisés dans le calcul de leur machine (que ce soit un transformateur, un alternateur ou un moteur), mais n'ont souvent pas pris de recul par rapport à la manière dont ils avaient conduit l'ensemble de leur travail.

- Par contre, les groupes qui ont réalisé un projet avec programmation des calculs ont saisi la nature itérative de ce processus, mais en le masquant la plupart du temps sous le problème technique des boucles de la programmation ou des organigrammes qu'ils avaient construits.

- En ce qui concerne les projets réalisés sur le système ESPACE, il est intéressant de noter que la plupart des étudiants ont entrevu, sinon totalement compris, la méthode qu'ils ont utilisée, en dégageant les différentes étapes de leur travail.

L'enseignant qui s'occupe des projets a, dans ce domaine, un rôle très important : il peut suivre l'évolution des groupes très régulièrement, et déceler ainsi le moment où chacun d'entre eux parvient au point où tout semble incohérent, signe qu'alors les étudiants ont saisi la complexité du problème sans voir encore la manière de l'aborder. Nous avons pu observer très souvent cette phase, sans toutefois avoir des moyens objectifs de la caractériser. Nous pensons que cette étape de prise de conscience par l'élève de la nature du travail qu'il fait est très importante, et que l'enseignant peut à ce moment là, lui apporter des éléments de réflexion et d'analyse à un niveau plus général.

Par contre, l'un des dangers du système ESPACE est qu'il donne les moyens de faire des calculs sans que l'on sache ce qui est caché sous les commandes. En particulier, nous avons noté chez les élèves une tendance très nette à rentrer des données numériques inutiles ou à calculer des grandeurs sans grande signification.

C'est au vu de ces observations que nous avons pu porter un jugement sur ce premier système, et défini plus précisément des directions de travail.

III - DE NOUVEAUX AXES DE TRAVAIL

III - 1 - Ce qu'ESPACE apporte

Les informations que nous avons obtenues tant lors de la préparation de l'expérience que pendant son déroulement n'ont donc fait que confirmer l'apport très important du projet dans la scolarité. Mais nous avons montré que cet exercice pouvait permettre aux élèves d'aller plus loin que la simple application de formules et de connaissances, d'atteindre un véritable apprentissage sinon de la vie professionnelle dans son ensemble, du moins d'une de ses activités essentielles |18|.

Nous pensons que c'est dans cette optique qu'un outil tel que le système ESPACE prend toute sa signification. Tout d'abord, il favorise et développe non seulement l'utilisation d'une technologie nouvelle que les futurs ingénieurs rencontreront dans l'industrie, mais aussi l'acquisition d'un état d'esprit et d'une méthodologie de travail sans lesquels il est inutile, voire dangereux, d'utiliser de tels outils. Ce n'est pas sacrifier à une mode que de promouvoir cet apprentissage, loin de là. Des centres de conception assistée par ordinateur se créent dans de nombreux pays, à tel point que l'on peut en faire une discipline d'enseignement |31| ; apprendre à programmer n'est plus la seule façon de pouvoir utiliser rationnellement un ordinateur.

A un niveau moins général, nous pensons qu'ESPACE joue un rôle de stimulant non négligeable pour les élèves. Il leur apporte une aide dans un travail fastidieux de calcul - une bonne machine de bureau en ferait tout autant - mais ce qu'une simple calculatrice ne peut pas faire, c'est amener les étudiants à se poser des questions sur le pourquoi de la décision qu'ils prennent, sur la nature du matériau qu'ils vont uti-

liser, ou sur les conséquences globales d'une modification de détail qu'ils ont faite.

Et dans ce domaine, l'attrait de la nouveauté n'est-il pas aussi un élément stimulant ? Introduire de nouvelles formes de travail, un rythme différent, une certaine liberté dans l'organisation du travail ou le choix d'un matériel à utiliser, n'est-ce pas entrouvrir les cadres traditionnels dans lesquels la plupart des élèves se sentent mal à l'aise ? L'innovation ne doit pas être un but en elle-même, mais il ne faut pas négliger pour autant son intérêt.

III - 2 - Les critiques à l'égard du fonctionnement du système

Les constatations que nous venons d'évoquer semblent justifier pleinement l'existence d'un tel système. Toutefois, le "prototype" sur lequel nous avons réalisé cette première expérimentation présentait un certain nombre de défauts, dont l'ensemble arrivait à contrecarrer les objectifs pédagogiques que l'on voulait atteindre.

Tout d'abord, nous nous sommes heurtés à un manque de souplesse très grave, tant du point de vue de l'utilisateur (l'élève) que de celui de l'enseignant (qui pouvait désirer modifier le système). En effet, la taille de l'ensemble des programmes nécessaires au fonctionnement d'ESPACE était telle que l'on ne pouvait pas tous les charger en même temps sous CP/CMS. Il avait fallu découper le système en deux sous-systèmes, l'un pour la description, et l'autre pour les calculs, ce qui allait à l'encontre d'un certain nombre des principes que nous avons énoncés. D'autre part, l'imbrication des sous-programmes et l'absence d'une structure vraiment modulaire rendait difficile la correction de certaines erreurs, et très difficile l'adjonction au système d'un algorithme nouveau.

De ce fait, il n'était pas possible de modifier les algorithmes pour diminuer le temps d'exécution de certains calculs. Le coût de réa-

lisation d'un projet sur ce système (500 à 600 F) rendait prohibitif l'intégration de celui-ci dans l'enseignement.

D'autre part, il est apparu que certains algorithmes devaient être améliorés, de façon à étendre la gamme des possibilités recouverte par le modèle potentiel. Ceci non pas dans un souci de généralisation, mais pour donner aux étudiants un éventail de choix plus important. De plus, il était indispensable de revoir l'édition des commentaires et des messages d'erreurs, qui était souvent fastidieuse parce que trop longue.

Enfin, nous désirions que les élèves puissent recevoir des informations supplémentaires pendant leur travail, en fonction de la démarche qu'ils suivaient. En particulier, pour maintenir une attitude active chez certains étudiants, il était bon de détecter par exemple les enchaînements de commandes incohérents ou l'entrée de données inutiles.

III - 3 - En conclusion...

Compte tenu d'une part de l'intérêt qu'avait présenté notre expérience, et d'autre part des difficultés d'utilisation du "prototype" du système, nous avons jugé indispensable de construire une nouvelle réalisation sur la base des mêmes principes pédagogiques. Les enseignements fournis par le travail de J. C. Latombe sur le plan du modèle potentiel, et en particulier sur celui de l'enchaînement des algorithmes de calcul, nous ont permis de redéfinir les principes de réalisation indispensables pour obtenir une plus grande souplesse du système, et pour mieux satisfaire les objectifs pédagogiques que notre expérience avait permis de préciser.

C H A P I T R E I I I

LA REALISATION DE L'APPLICATION "TRANSFO"

I - LES DIFFERENTS ASPECTS DE LA REALISATION D'UNE APPLICATION

A cette étape de notre travail, nous nous sommes trouvés dans la situation de tout enseignant qui désirerait construire un modèle potentiel d'une machine électrique, ou plus généralement d'un système physique ou économique. Nous avons alors distingué quatre aspects différents du problème, que la figure 7 met en évidence. Ils concernent :

- l'utilisateur du système, c'est-à-dire l'élève qui travaille à son projet.
- le support matériel des communications : les terminaux qui permettent le dialogue avec l'ordinateur.
- le système proprement dit, constitué par les programmes généraux utilisés par les applications.
- l'application particulière, à savoir les programmes qui correspondent au modèle potentiel (par exemple le Transformateur, la Banque de données de matériaux, les Réseaux de transport d'énergie, [32], [33], etc...)

Nous discuterons dans ce chapitre des apports de notre travail au système ESPACE sous ces différents aspects.

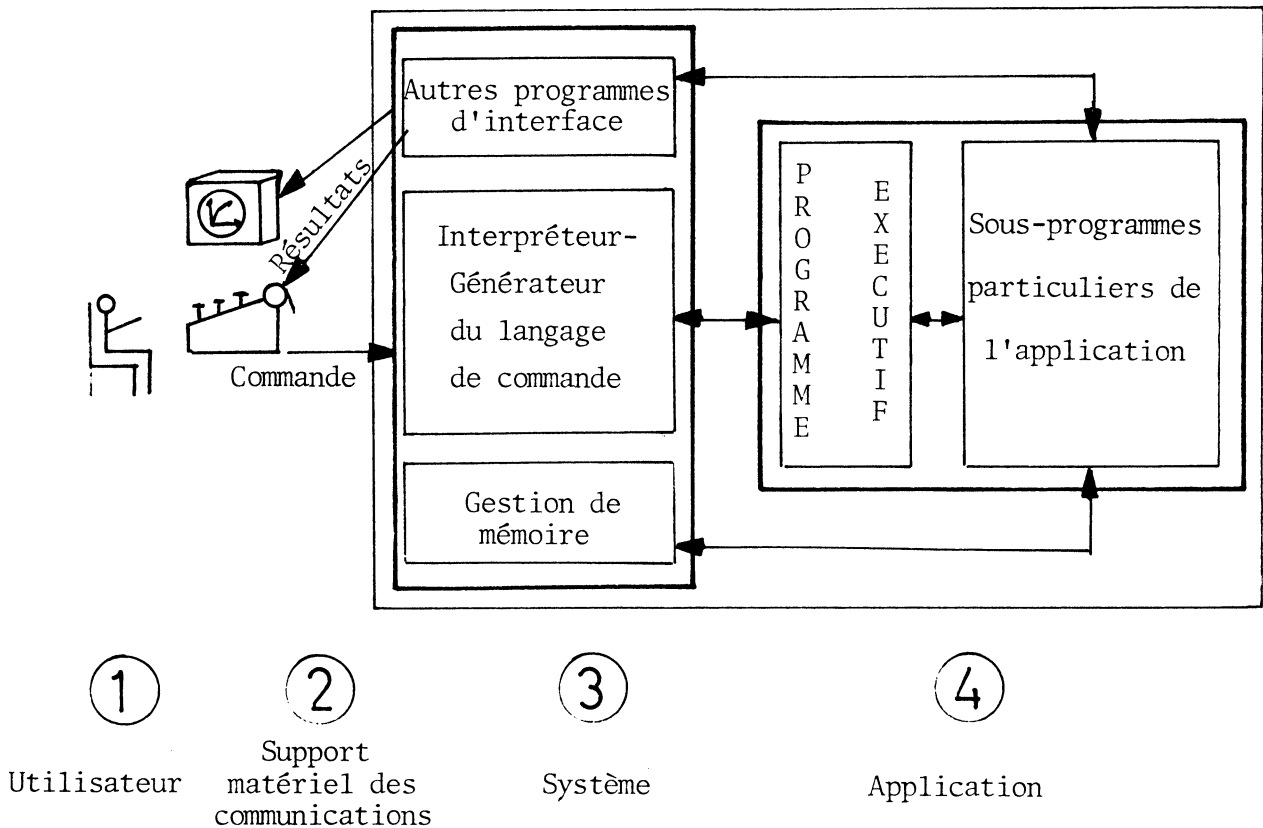


Figure 7 : schéma de fonctionnement du système ESPACE

II - LE NIVEAU "UTILISATEUR"

Au niveau "utilisateur", deux problèmes distincts se sont présentés :

- le premier a consisté à corriger les défauts de l'application "TRANSFO" que nous avons relevés lors de l'expérimentation décrite précédemment.
- le second était relatif à la formation des étudiants à l'utilisation du système.

La résolution du deuxième problème constitue un aspect important de notre travail, que nous exposerons en détails au chapitre IV. Ainsi, dans le présent chapitre, nous nous consacrerons plus spécifiquement à l'étude de la mise au point de l'application "TRANSFO", et nous essaierons de répondre à la question suivante : comment avons-nous traduit, sous forme de logiciel et de matériel, les conclusions tirées de l'observation des réactions des élèves ?

La figure 3 reprend les quatre niveaux, en intégrant, sous la dénomination générale "ESPACE", à la fois l'application, le matériel et le système. Elle a pour objet de montrer un aspect important de la conduite de notre travail.

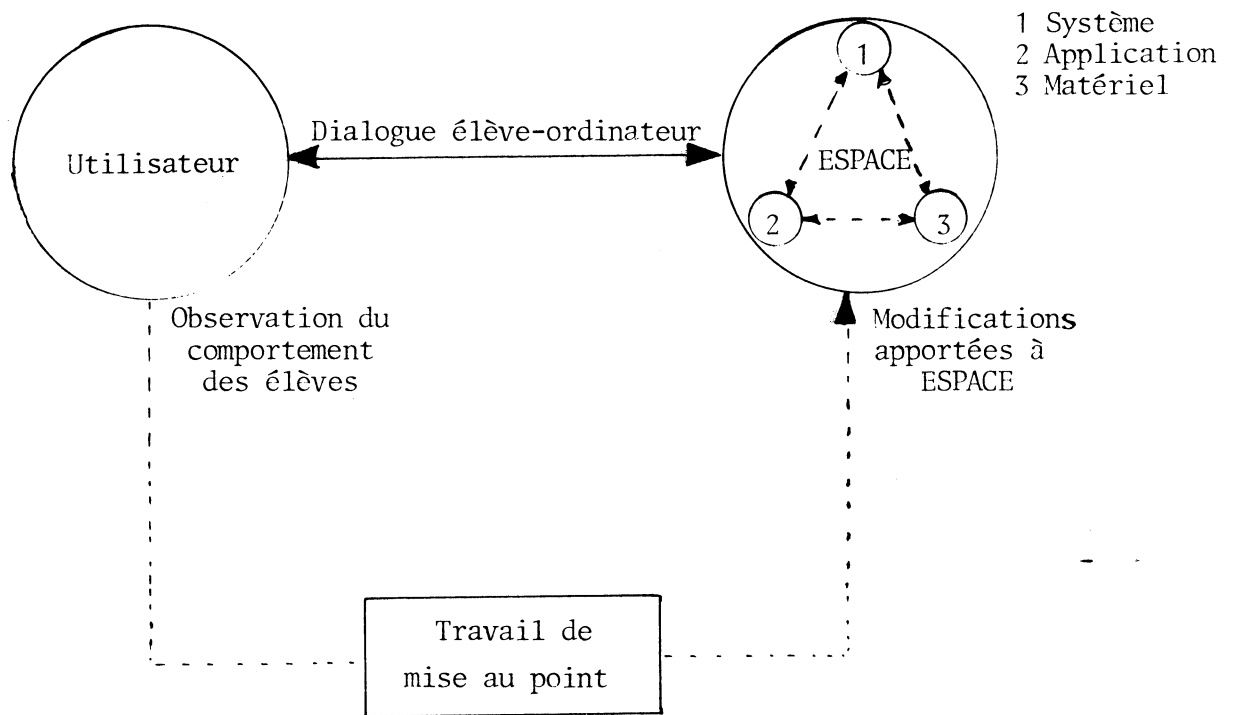


Figure 8 : les quatre aspects d'"ESPACE"

Chaque fois que l'observation du comportement des élèves nous a fait prendre la décision d'apporter une modification à ESPACE, nous avons été amenés à nous demander sur quel composant (application, matériel ou système) elle devait être effectuée. En effet, ces trois sous-ensembles sont extrêmement liés par les fonctions qu'ils remplissent, et les frontières entre chacun sont loin d'être nettes (c'est ce que nous avons voulu traduire sur la figure 8 par les trois flèches en pointillés longs). Par exemple :

- Nous avons choisi de re-programmer l'application "TRANSFO" en FORTRAN pour éviter la lourdeur de PL1. De toute évidence, ce choix se place au niveau de l'application ; pourtant, il a eu des conséquences importantes au niveau du système, qui ne prévoyait pas l'utilisation du langage FORTRAN.

- Le choix des entrées-sorties au niveau d'une application dépend du matériel disponible, mais peut aussi conduire à acquérir du matériel nouveau ; c'est le cas des projecteurs de diapositives, dont nous avons décidé la mise en place après nos observations sur le travail des élèves. Par ailleurs, la mise en service d'un matériel nouveau nécessite un support logiciel de commande général, que l'on doit placer au niveau système...

Il n'est donc pas rare (c'est même le cas le plus fréquent) qu'une modification portant sur un composant d'ESPACE rejaillisse sur les deux autres. Par ailleurs, il n'existe pas en général de critère absolu pour décider de la manière de répartir une modification sur ces trois sous-ensembles. Toutefois, le niveau "application" d'ESPACE étant le plus intimement lié au travail des étudiants (c'est là qu'est programmé le modèle potentiel élaboré par l'enseignant), c'est par lui que nous avons toujours commencé pour effectuer une modification d'ESPACE. Par suite :

- toute partie de modification dépassant le cadre d'une application particulière a été reconduite au niveau "système".

- toute partie de modification typiquement d'ordre matériel a été reconduite au niveau 'matériel'. Certaines modifications apportées à ce niveau nous ont ensuite conduits à modifier le système pour y inclure de nouvelles commandes logicielles de matériel.

Nous avons schématisé sur la figure 9 la stratégie de travail que nous venons de décrire.

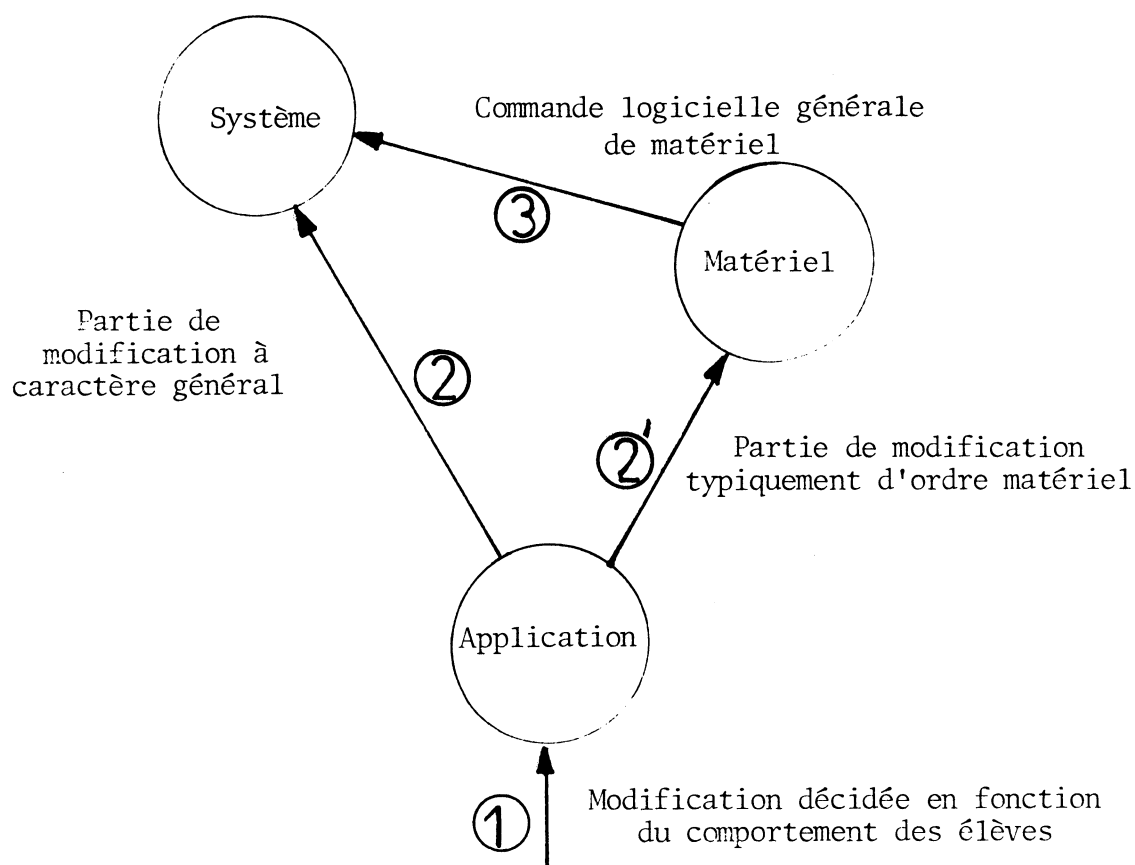


Figure 9 : stratégie suivie pour apporter une modification à ESPACE

C'est donc dans cet ordre : application, matériel, système, que nous étudierons les modifications que nous avons apportées à ESPACE. Auparavant, rappelons brièvement les principales critiques et suggestions que nous avons formulées à l'égard du système élaboré par J. C. Latombe :

- manque de souplesse et de maniabilité, tant du point de vue de l'utilisateur que de celui de l'expérimentateur.
- extension de l'espace des solutions possibles offert aux élèves.
- améliorations des informations données aux étudiants pendant leur travail ; elles doivent être plus complètes que de simples messages.
- mémorisation de la trace du travail des étudiants.

Ce sont elles qui sont à l'origine des modifications que nous avons apportées à ESPACE, et il est important de les garder présentes à l'esprit dans les paragraphes suivants.

III - LE NIVEAU "APPLICATION"

III - 1 - Définition du problème

Cette partie est spécifique d'un domaine technique, et constitue le travail propre de l'enseignant.

La première tâche de celui-ci est de décomposer le sujet à enseigner suivant un certain nombre de concepts | 1 | qu'il lui faut ensuite structurer. C'est un travail très délicat, non pas tant par les problèmes techniques qu'il pose que par l'impact pédagogique de cette décomposition. Lorsque les élèves travaillent ensuite sur ces concepts, étudient leurs relations et leurs interactions, ils finissent par représenter et analyser la machine qu'ils conçoivent en s'inspirant fortement du modèle potentiel qu'on leur a proposé (voir figure 5, p.19 pour le transformateur). Il est donc indispensable de ne pas céder à la facilité en se contentant d'un modèle potentiel simpliste ou peu représentatif de la réalité, même si cela doit conduire à des difficultés de réalisation.

Il faut ensuite choisir le graphe d'enchaînement des algorithmes de calcul [17] (nous l'étudierons plus en détail au paragraphe V). Il est nécessaire tout d'abord de définir les données de base (géométriques ou électriques) que l'étudiant devra spécifier lui-même. Ces grandeurs sont en fait les hypothèses que l'élève fait sur certaines caractéristiques de sa machine. Cette base de données doit être établie de telle sorte qu'aucune ambiguïté ou aucune incompatibilité ne soit possible, aussi bien entre deux données qu'entre une donnée et une caractéristique calculable. Il reste à l'enseignant à choisir les algorithmes de calcul qu'il utilisera, en fonction de leur intérêt pédagogique et des hypothèses simplificatrices que la précision désirée autorise.

C'est le moment alors de définir les commandes qu'emploieront les élèves, en prenant soin de choisir judicieusement et avec précision les termes du vocabulaire technique.

Enfin peut commencer la phase de programmation proprement dite. C'est un travail long et souvent fastidieux, du fait de la complexité des cas possibles et des contrôles nombreux qu'il faut prévoir sur la cohérence des séquences de commandes que les élèves pourront taper.

III - 2 - Notre travail

- Reprogrammation de l'application "TRANSFO"

Lors de la re-programmation de l'application "TRANSFO", nous avons rencontré un certain nombre de problèmes, dont l'étude dépassait le simple cadre de l'application. Citons en particulier le choix du langage de programmation, la méthodologie liée à la notion de modèle potentiel, la présentation des messages aux étudiants, etc... C'est en abordant le niveau "système" au paragraphe V de ce chapitre, que nous traiterons ces questions.

- Modification de l'espace des solutions

Nous avons conservé le modèle du transformateur qui avait servi de base à la réalisation de J. C. Latombe [17]. Le travail des étudiants sur ESPACE avait montré qu'il était amplement suffisant pour notre objectif pédagogique. Toutefois, afin d'étendre l'éventail des choix proposés aux élèves, nous avons envisagé quatre modifications :

- la possibilité de décrire une cuve sans ondulations (cuve lisse),
- laisser le choix à l'utilisateur des valeurs des coefficients de foisonnement dans les galettes,
- la définition de prises de réglage des tensions,
- la possibilité de décrire un montage de type Zig-Zag (les seuls cas prévus auparavant étant l'étoile ou le triangle).

La détermination des spécifications et l'écriture des programmes relatifs aux commandes de description ou d'entrée de données qui tiennent compte de ces nouveautés n'a pas posé de problème. Par contre, nous avons rencontré de grosses difficultés en abordant l'étude des contrôles à effectuer préalablement à l'exécution d'un calcul.

Nous pensons avoir atteint, au cours de cette tentative, une des limites du système ESPACE dans sa forme actuelle. En effet, l'adjonction au modèle potentiel d'éléments nouveaux, relatifs à la structure du transformateur, multiplie le nombre de cas de figures qu'il faut prévoir dans la programmation. Si la réalisation technique est possible, les performances de l'ensemble s'en trouveront très affectées : le temps d'exécution risque de devenir prohibitif et l'application serait alors inutilisable par les élèves. C'est pourquoi nous avons préféré abandonner les deux modifications les plus complexes (les prises de réglage et le mon-

tage Zig-Zag), plutôt que de compromettre le fonctionnement de toute l'application. Nous n'avons donc rajouté en définitive que la cuve lisse et les coefficients de foisonnement des galettes, qui introduisent peu de contrôles supplémentaires car on peut les assimiler simplement à des entrées de données numériques.

- Introduction d'une aide à la conception

Il nous a semblé intéressant de développer et d'étendre la notion de prédétermination que J.C. Latombe avait ébauchée dans son premier système.

Rappelons que les caractéristiques géométriques et électriques du transformateur ont été classées en deux groupes :

- les données, hypothèses que fait l'utilisateur sur l'appareil qu'il conçoit.
- les paramètres calculables, conséquences des hypothèses et des lois physiques.

Montrons sur un exemple les restrictions qu'impose cette séparation des caractéristiques en deux groupes :

- Le résultat du calcul des pertes dans les tôles du circuit magnétique n'est pas seulement la conséquence d'hypothèses sur les caractéristiques des tôles (épaisseur, pertes par kilo en fonction de l'induction) et les dimensions géométriques des noyaux (hauteur, section de fer) ou des culasses (longueur, section de fer) ; il nécessite aussi le calcul préalable de l'induction dans les noyaux. Et celui-ci se fait à partir des caractéristiques des enroulements, à savoir le nombre de spires du primaire, la tension, la fréquence.

Les élèves ne peuvent donc pas avoir une idée des pertes dans le circuit magnétique, les "prédéterminer", sans avoir décrit auparavant

les enroulements et par contre-coup tout le transformateur (à l'exception du refroidissement).

Donner une telle possibilité aux élèves nous a semblé d'un intérêt pédagogique certain, car cela facilite grandement le choix entre plusieurs solutions. Par exemple, la comparaison entre différentes formes de noyaux du circuit magnétique devient beaucoup plus aisée si l'on évite de décrire à chaque fois la structure complète du transformateur.

Afin de ne pas alourdir le langage de commande, ce qui aurait pu gêner les utilisateurs plus que les aider, nous avons limité la portée d'une commande de "prédétermination" au circuit magnétique et au bobinage. Cela revient à dire que par une commande simple (PREDETERMINATION CIRCUIT MAGNETIQUE, ou PREDETERMINATION BOBINAGE), l'élève dispose à volonté de deux sous-applications indépendantes, l'une pour la description et le calcul de la partie circuit magnétique d'un transformateur, l'autre pour sa partie électrique.

- Mise en service d'une Banque de données

Une Banque de données de matériaux électrotechniques fonctionnant dans l'environnement du système ESPACE a été mise au point par J. C. Latombe [45]. Elle constitue une application particulière du système, et il est possible d'avoir accès à cette Banque pendant que l'on travaille sur un projet de l'application "TRANSFO". Les élèves peuvent ainsi consulter des catalogues où sont répertoriés les matériaux les plus utilisés en construction électrique, en tenant compte éventuellement d'impératifs de normes ou de standardisation. La recherche des matériaux dans cette Banque se fait essentiellement à partir de leurs propriétés. Voici un exemple d'interrogation de la Banque. On désire rechercher les matériaux conducteurs de résistivité comprise entre 10^{-7} et $10^{-8} \Omega \cdot m$.

-RECHERCHER MATERIAU CONDUCTEUR ;
QUELLES SONT VOS CONDITIONS ?

-RESISTIVITE ELECTRIQUE < 1E-7 > 1E-8 ;
IL RESTE 2 ELEMENT(S) SELECTIONNE(S)

-SORTIR NOMS ;
CUIRAFF
ALU

-SORTIR RESISTIVITE ELECTRIQUE CUIRAFF ; SORTIR RES. ELEC. ALU ;
CUIRAFF

RESIST. ELECTRI. 1,69999E-08

ALU

RESIST. ELECTRI. 2,59999E-08

-SORTIR COMMENTAIRES CUIRAFF ;
CUIRAFF

CUIVRE RAFFINE.ECROUI DUR .
CU/A1,CU/A2 SUIVANT LES NORMES NF A 53.100
OK.

Nous n'avons pu mettre cette application en service que vers la fin du travail des étudiants. Des lacunes importantes demeurent, en particulier sur la façon encore incomplète dont nous l'avons remplie, mais son utilisation a suscité un engouement et un intérêt certains. Signalons que la mise à jour de ce catalogue est très aisée, et qu'il sera donc facile d'en améliorer le contenu.

- Etude de quelques cas particuliers

Il nous a aussi semblé très utile d'étudier la façon d'utiliser ESPACE pour concevoir des appareils différents de ceux qui entrent normalement dans les limites du système. Nous avons abordé plus particulièrement les cas du transformateur monophasé et de l'autotransformateur triphasé. Pour l'un comme pour l'autre, les difficultés essentielles sont de deux ordres. D'une part, il est indispensable d'arriver à définir le modèle de la machine que l'on conçoit par une formulation

compatible avec les concepts du modèle potentiel ; d'autre part, il faut examiner avec soin la portée des hypothèses faites dans les algorithmes de calcul, et leur compatibilité avec les cas que l'on traite.

Les étudiants qui se sont trouvés en face de tels problèmes ont, dans l'ensemble, bien réagi. En particulier, ils ont été contraints à une analyse plus fouillée du problème avant même de commencer la description de la machine, et à un effort de modélisation plus grand. Ils abordent ensuite le travail sur la console avec leur problème clairement en tête et considèrent le système comme un outil plus volontiers que ceux qui n'ont pas fait ce travail. Il nous semble très important que les élèves puissent acquérir une telle attitude.

- En conclusion...

Signalons une conclusion importante que nous avons pu tirer à la suite de notre travail de programmation, et qui n'apparaît pas dans ce qui précède. L'enseignant qui désirerait écrire et mettre au point une application analogue à celle que nous avons élaborée doit pouvoir consacrer un temps assez important à cette tâche. Pour fixer les idées, nous pouvons l'évaluer à cinq à six mois passés pour les trois quarts du temps à la programmation, et à trois mois passés pour un quart du temps à la mise au point. Ce qui peut constituer un handicap sérieux pour un enseignant.

IV - LES APPORTS AU NIVEAU "MATERIEL"

Dans ce domaine, il s'agit de définir les principales fonctions que l'on attend de l'interface entre l'élève et le système, et de choisir les moyens techniques les plus appropriés pour les réaliser. Il semble important de donner aux utilisateurs d'un système tel qu'ESPACE des formes variées d'entrées des commandes et de sorties des résultats,

afin non seulement d'introduire une certaine diversité dans le travail des élèves, mais aussi de les habituer à utiliser une technologie nouvelle.

IV - 1 - Les projecteurs de diapositives

L'introduction et la mise au point de projections automatiques de diapositives pendant le travail des étudiants répondait à diverses motivations.

D'abord, nous avons voulu montrer ainsi ce que recouvrent certains concepts, principalement lors du travail de description de la machine. Il est important en effet de bien se rendre compte des problèmes techniques qui se cachent sous des commandes aussi simples que : AUTOUR (de) NOY1 (mettre) EN1, par exemple ('mettre l'enroulement autour du noyau') ! Une trop grande simplicité risque d'induire des idées fausses dans l'esprit des étudiants. Combien de fois avons-nous entendu un "il n'y a qu'à..." révélateur du manque de résonance concrète des difficultés technologiques.

Une autre conséquence de ces projections est de donner une idée des ordres de grandeur des dimensions des différentes parties du transformateur - ce qui est un aspect souvent négligé par les élèves -.

D'autre part, nous utilisons les diapositives pour certains "rappels à l'ordre", dans le cas où les étudiants s'égarent de façon flagrante. Citons par exemple un message tel que "Attention aux unités", si les élèves commettent une erreur grossière dans l'entrée d'une donnée. Pourquoi alors ne pas simplement éditer un message sur la console ? Dans ce cas, la lenteur de l'impression finit par décourager les étudiants qui ne prêtent plus attention aux messages imprimés, et l'information est perdue. Nous pouvons également donner des messages plus détaillés par ce procédé, par exemple à l'aide de schémas, rappeler les hypothèses d'un algorithme de calcul, indiquer une formule, montrer des caractéristiques de matériaux sous forme de courbes, renvoyer à une partie de cours, etc...

Pour atteindre ces buts, deux modes de commande des projecteurs ont été prévus. L'un est le mode 'manuel', dans lequel l'élève peut demander la projection d'une photo dont il connaît le numéro ; l'autre est le mode 'automatique', qui consiste en une commande directe par programme, en fonction du travail de l'élève et des caractéristiques de son projet.

Dans ce deuxième mode, il faut effectuer une véritable gestion du rythme d'apparition des photos, pour ne pas saturer l'élève en lui passant les vues trop rapidement ou en répétant plusieurs fois de suite la même projection. C'est ainsi que nous avons été conduits à élaborer une mini-application d'ESPACE (l'application 'DIAPOS') destinée à aider l'enseignant. Les photos doivent être réunies en groupes différents, caractéristique chacun d'une commande ou d'une famille de commandes. De plus, l'enseignant doit affecter des critères à chacun de ces groupes. (Nombre de fois où l'on autorise la projection de la même diapositive pendant une séance, nombre de séances de "repos" entre deux projections de la même vue, etc...).

Les programmes de l'application 'TRANSFO' ont alors accès à un fichier dans lequel les informations concernant les vues sont conservées, et chaque projet est particularisé par la mise en mémoire de "l'histoire" des projections déjà effectuées. On adapte ainsi le rythme des projections au travail de chaque groupe d'élèves, et au chemin suivi dans le dédale des commandes. Nous donnons, dans l'Annexe 3, les détails relatifs à cette réalisation.

Du point de vue pratique, la sélection d'une vue se fait en deux temps :

- sélection du projecteur (car deux appareils sont en service simultanément, de façon à disposer de 160 photos).
- puis sélection de la diapositive dans le panier.

Les projecteurs, du type KODAK CAROUSEL SRA, sont vendus dans le commerce équipés de l'automatisme de positionnement. L. Mariaux^x a bien voulu réaliser un interface électronique qui décode certains octets envoyés par programme, et commande l'automatisme des projecteurs. Des temporisations permettent de choisir l'intervalle de temps minimal qui sépare deux projections consécutives.

IV - 2 - Définition et améliorations du poste de travail

La figure 10 nous montre le poste de travail des étudiants, qui comprend :

- un terminal à imprimante,
- une console à écran alphanumérique,
- un terminal graphique,
- et des projecteurs de diapositives (non visibles sur la figure 10)



Figure 10 : photographie du poste de travail

^x Ingénieur à l'Ecole Centrale de Lyon.

L'élément essentiel est le terminal à trace papier, grâce auquel on conserve le déroulement du travail et les résultats. Sur l'écran alphanumérique sont envoyés les messages de moindre importance, et le terminal graphique permet le tracé des courbes de variation d'un paramètre en fonction d'un autre. De plus, un magnétophone à cassettes permet d'enregistrer les sorties de courbes pour les repasser ensuite, à volonté. Ainsi, les élèves ont le moyen de conserver des états différents de leur projet, pour les comparer ensuite ou simplement pour mémoriser sous une forme commode et peu onéreuse un certain nombre de résultats.

Il faut signaler que ce poste de travail a rarement été utilisé au complet, et que nous manquons d'éléments pour apprécier pleinement l'efficacité du type de terminaux que nous avons choisis. A cela plusieurs raisons, dont la principale reste le prix de ce matériel et, par suite, un manque de terminaux par rapport au nombre des élèves. De plus, les facilités du graphique ont été peu employées du fait de la lenteur de la transmission des informations due au couplage des Télétypes, et donc du caractère fastidieux du tracé des courbes. Mais nous restons persuadés de l'intérêt de ce type de matériel dans le cas de transmissions plus rapides, et nous pourrions envisager alors des tracés de réseaux de courbes de façon à montrer la variation d'un paramètre en fonction de deux autres.

Du point de vue technique, les informations sont aiguillées vers tel ou tel terminal grâce à une interface électronique, commandée par des codes envoyés par programme. Nous avons choisi des boîtes à deux sorties seulement (figure 11) afin de faciliter la répartition des terminaux entre tous les postes de travail.

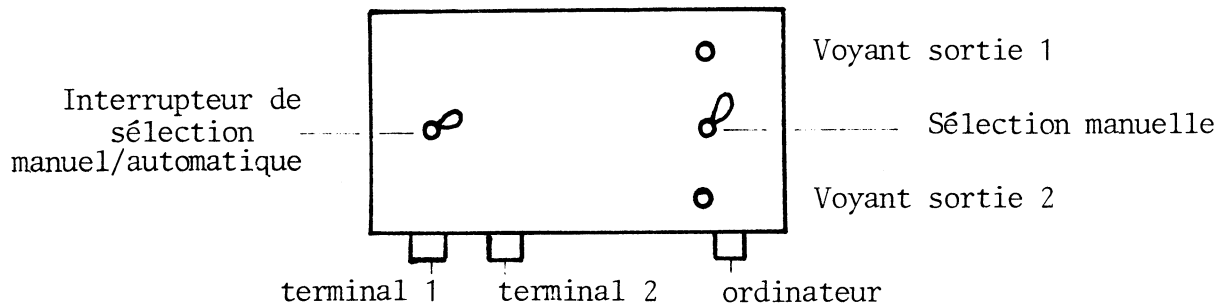


Figure 11 : aspect externe d'une boîte pour aiguillage des informations entre deux terminaux

Certes, ce procédé fonctionne et donne satisfaction. Mais le grand reproche que l'on peut lui faire est le peu de possibilités qu'il offre. Nous sommes arrivés à la conclusion que l'interface placée entre l'utilisateur et les programmes du niveau "système" doit être plus qu'un simple aiguillage. On pourrait alors réserver la mémoire de l'ordinateur pour les tâches de calcul et de gestion des données, et décentraliser vers cette interface les détails de présentation des résultats (organisation des projections de diapositives, filtrage des messages inutiles, pré-traitement des commandes de l'élève pour gérer localement le poste de travail, etc...). Il semble qu'un appareil de type microprocesseur puisse convenir pour cette tâche, et donne l'occasion de redéfinir les fonctions que remplissent les composants du poste de travail suivant les applications que l'élève utilise (mise en service d'entrée graphique, d'imprimantes rapides, de projecteurs de microfiches pour des parties de cours ou des documents techniques, etc...).

Nous l'avons déjà dit, écrire une application et apporter du matériel nouveau à ESPACE conduit nécessairement à remettre en cause ou à compléter certaines des options choisies au niveau du système proprement dit. Nous allons développer cette question, en précisant les divers aspects que revêt ce "système".

V - ETUDE DU "SYSTEME"

Toute application fonctionne dans l'environnement du système. On peut dire qu'il est constitué par un ensemble d'outils généraux - logiciel et méthodologie - pour la structuration des informations, la composition des algorithmes et l'interface d'entrées-sorties. L'enseignant les utilise pour organiser et construire son application. C'est à travers ces outils que sont concrétisés les objectifs pédagogiques invariants qui servent de base à ESPACE.

Si l'on désire apporter des modifications à cet ensemble, il faut prendre un certain nombre de précautions :

- conserver au système son caractère général, en ne le particularisant pas par rapport à une application.
- respecter les objectifs pédagogiques.
- faire des modifications compatibles avec les anciennes versions.

Nous allons traiter tout d'abord la question du logiciel qui est mis à la disposition de l'enseignant.

V - 1 - Le support logiciel

V - 1 - 1 - Le langage de programmation

Avant de commencer la programmation de l'application "TRANSFO", nous avons eu à choisir le langage dans lequel nous allons écrire les programmes. La première version d'ESPACE avait été réalisée en langage PL1, et nous avons déjà critiqué ses principaux défauts, dont le plus important était la taille mémoire occupée et le manque de maniabilité qui en résultait. Toutefois, l'aspect le plus attractif de ce langage est le

traitement de chaînes de caractères. Il a été décidé de conserver la partie relative au traitement des commandes en programmes en PL1, et d'utiliser le langage FORTRAN pour la programmation de l'application, ainsi que pour le programme de gestion de mémoire. Seuls, quelques programmes d'entrées-sorties ont été conservés en assembleur 360.

Les arguments qui ont conduit à choisir FORTRAN sont nombreux. Résumons les principaux :

- la rapidité d'exécution.
- la réduction de la place occupée en mémoire (actuellement, le chargement sous CP/CMS de l'ensemble système + application "TRANSFO" demande environ 350 K octets ; le chargement de l'ensemble système + application "TRANSFO" + application "BANQUE" demande 500 K octets. Rappelons qu'avec la version écrite en PL1, on ne pouvait utiliser à la fois les fonctions de description et celles de calcul pour la seule application "TRANSFO" !).
- la possibilité d'implanter ESPACE sur d'autres types de calculateurs.
- la possibilité d'intégrer dans l'application des programmes écrits par d'autres (industriels, universités) ou des programmes réalisés par les élèves.
- le langage FORTRAN est très répandu : il est facilement abordable par toute personne qui voudrait apporter des modifications à l'application.

V - 1 - 2 - Les fonctions des programmes généraux du système

- L'interpréteur-générateur

Parmi les programmes qui se trouvent au niveau "système", il faut citer tout d'abord l'interpréteur-générateur du langage de commande |24|.

Grâce à un langage de description simple et à de nombreuses facilités de travail en mode conversationnel, l'enseignant a les moyens de décrire et de modifier les commandes qu'il proposera aux étudiants. Il peut ainsi non seulement prévoir ses commandes en fonction des algorithmes de description ou de simulation qu'il a mis au point, mais aussi adapter rapidement les termes de vocabulaire et la syntaxe après un certain nombre d'observations sur le travail des élèves.

- Une gestion dynamique de la mémoire

La définition que nous avons donnée du modèle potentiel suppose une organisation souple et simple des données relatives à chaque projet. Nous ne nous étendons pas sur ce problème technique, que J. C. Latombe a résolu par des pointeurs entre des tableaux [17]. Toutefois, afin de supprimer à l'enseignant la tâche fastidieuse et vite rédhibitoire de gérer ces tableaux et leurs liaisons, un programme automatique de gestion de mémoire a été implanté par M. Campmas^{*}.

- Assurer les entrées-sorties

Enfin, il faut résoudre tous les problèmes d'entrées des données (dans le cas où l'interaction se fait non plus sur une commande à l'initiative de l'élève, mais par des réponses de celui-ci à des questions posées par le système), et de présentation des résultats. Tout ceci est réalisé par un ensemble de petits programmes utilitaires adaptés à chacune des tâches particulières, afin d'autoriser l'adjonction d'autres programmes si de nouvelles formes de sorties de résultats sont envisagées.

* Ingénieur-Chercheur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et de Génie Physique de Grenoble.

V - 1 - 3 - Nos apports au système

- Gagner de la place et du temps

Cet impératif répond à plusieurs objectifs, dont le principal reste la nécessité de réduire le coût de fonctionnement du système afin de le rendre opérationnel en tant que moyen d'enseignement. Ceci nous a amenés à modifier la gestion des fichiers dans lesquels sont stockées les données relatives à chaque projet, de façon à diminuer la taille de ces fichiers et rendre ainsi leur maniement plus aisé. Nous avons ainsi pu réduire dans des proportions notables (30 % environ) le coût d'un projet ; on doit compter aujourd'hui en moyenne 250 F pour un groupe qui travaille sur ESPACE (la "fourchette" s'étendant de 180 à 330 F environ).

De plus, nous avons donné ainsi une plus grande liberté à chacun des groupes pour établir son emploi du temps, car nous pouvions répartir rapidement les projets sur des disques différents suivant les désirs des élèves. On trouvera à l'Annexe 4 quelques détails relatifs à cette organisation matérielle des projets.

- Simplifier la sortie des messages

Les messages écrits que le système adresse aux étudiants sont de deux ordres :

- les messages d'erreurs, qui apparaissent chaque fois qu'une erreur a été détectée.

- les messages d'information, qui précisent les hypothèses d'un calcul, indiquent qu'une approximation est faite, etc...

Nous avons été amenés à contrôler la sortie de ces derniers, car une édition trop fréquente les rendait fastidieux et inutiles. En effet, les étudiants s'y intéressent seulement les premières fois où ils les voient ; ensuite, ils n'y prêtent plus attention... et en oublient

de lire les informations importantes ! Grâce à des compteurs, nous avons réussi à limiter la fréquence d'apparition de ces messages.

- Donner une idée du prix du travail sur ESPACE

Grâce à un logiciel mis au point par B. Morel^x, nous pouvons connaître le temps d'utilisation réelle de la mémoire de l'ordinateur, c'est-à-dire le temps de calcul qui sera facturé. Le montant obtenu n'est pas rigoureux (des problèmes techniques empêchent la comptabilisation de ce coût dans certains cas), mais il donne une idée de l'ordre de grandeur du coût d'un projet.

Nous avons prévu une commande qui permet aux élèves de savoir à tout moment combien leur travail a coûté. Plusieurs conséquences à cela :

- l'enseignant suit la progression des étudiants et discerne alors les groupes qui s'égarent dans des commandes coûteuses, parce qu'inutiles ou mal adaptées à leur projet. Il peut ainsi discuter avec les élèves et leur suggérer une méthode de travail plus efficace.

- les étudiants apprennent à gérer leurs moyens. Ils évaluent le prix des commandes, et se rendent compte rapidement qu'il est préférable de réfléchir à la portée réelle d'une décision qu'ils ont prise plutôt que d'adopter une méthode empirique pour évaluer ses conséquences.

Par contre, nous n'avons pas donné aux élèves de budget précis, de crainte de bloquer certains par la peur de trop dépenser.

^x Ingénieur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et de Génie Physique de Grenoble.

- Donner aux élèves l'accès à des fonctions numériques simples

Grâce à la souplesse du langage de commande et à la structure modulaire de la programmation, nous avons pu introduire dans le système une sorte de machine à calculer "de bureau". Il est à noter, pour répondre à une objection qui nous a été souvent formulée, que nous ne voulons pas tuer ainsi le "coup de règle" qui donne rapidement un ordre de grandeur ! Il apparaît vite que l'usage de cette "machine à calculer" se justifie seulement lorsque l'on se sert de fonctions (trigonométriques, logarithmiques, etc...) mais pas pour une banale addition ou multiplication. Nous avons simplement voulu donner ainsi aux élèves les moyens de vérifier rapidement une formule, ou comparer les résultats des calculs effectués par le système à ceux qu'ils pouvaient obtenir par d'autres moyens.

- Conserver la trace de la démarche des élèves

Un fichier "ELEVES" (dont les élèves connaissent l'existence) permet de conserver toutes les commandes tapées pendant une séance de travail.

A cette occasion, il faut signaler qu'il est possible de faire exécuter sous ESPACE une séquence de commandes qui ont été entrées sous la forme d'un paquet de cartes. Par conséquent, en conservant dans un fichier les commandes des élèves, on peut faire reproduire en quelques minutes une séance de travail qui a pu durer quelques heures ! Nous avons vu trois aspects intéressants à ce procédé :

- En cas de fausse manoeuvre (destruction accidentelle d'un projet, erreur détectée dans nos programmes, etc...), il est possible de recréer le projet des élèves sans perdre de temps.

- On peut conserver par ce moyen toutes les séquences de travail des étudiants, ce qui constitue une batterie de tests variés pour contrôler le système lorsqu'on y apporte des modifications.

- Enfin, ce qui apparaît comme très prometteur, c'est la possibilité d'analyser à postériori la démarche des étudiants. Cela nous semble être une voie de recherche qu'il faut approfondir, et nous pensons que le matériel qui est stocké au fur et à mesure du passage des élèves sur les consoles pourra être utilisé efficacement.

V - 2 - La méthodologie [34], [1]

Revenons un instant aux problèmes que pose la réalisation d'une application d'ESPACE, et sur la démarche que doit suivre l'enseignant qui aborde un tel travail. On peut distinguer quatre tâches essentielles :

- 1 - décomposer le sujet à enseigner en un certain nombre de concepts, et prévoir les relations entre ces concepts.
- 2 - structurer les informations en mémoire de l'ordinateur.
- 3 - comparer les algorithmes de calcul.
- 4 - choisir les modes de communication entre l'élève et le système.

Nous avons déjà parlé des points 1 (p. 46) et 4 (p. 52) dans les paragraphes qui précèdent ; nous n'y reviendrons donc pas ici. Nous allons nous intéresser plus particulièrement à la méthodologie que requiert la réalisation pratique d'une application, en prenant comme illustrations des exemples relatifs au transformateur.

V - 2 - 1 - La structuration des informations

- La méthode générale

Lorsque l'enseignant a défini les "entités" de son modèle potentiel telles qu'elles sont représentées sur la figure 5 (p. 19), il doit compléter sa structure de la façon suivante :

- Affecter à chaque entité un ensemble de propriétés qui caractériseront chaque réalisation de cette entité dans le modèle de l'étudiant. Par exemple, pour le Circuit magnétique, on rencontrera les "JOINTS" (angle entre les tôles des noyaux et celles des culasses), le "POIDS", les "PERTES dans le FER", etc...

- Associer à chaque liaison (hiérarchique ou associative) un ensemble de contraintes qui devront être respectées avant de créer la liaison correspondante entre deux composants dans le modèle de l'étudiant. Par exemple, pour la liaison "enroulement autour du noyau", il faudra que :

- Il n'y ait pas déjà un enroulement autour de ce noyau.
- Cet enroulement n'entoure pas déjà un autre noyau.
- Si le noyau est déjà dans un circuit magnétique, et l'enroulement dans un bobinage, tous deux doivent appartenir au même transformateur (car l'étudiant peut décrire plusieurs transformateurs dans le même "projet").

Les réalisations de ces entités seront représentées dans l'ordinateur par des mots de mémoire contigus, comme le montre la figure 12.

Le modèle potentiel, avec les propriétés affectées aux entités et les contraintes sur les liaisons, doit alors être traduit en trois sous-programmes de l'application, en utilisant à cette occasion le programme de gestion dynamique de la mémoire. Les sous-programmes doivent remplir les fonctions suivantes :

- engendrer les composants (les réalisations des entités) dans les mémoires de l'ordinateur. En d'autres termes, c'est exécuter la commande : "CREER CIRCUIT MAGNETIQUE CM1 ;" en réservant un bloc de la forme représentée sur la figure 12, et repéré par le nom CM1 enregistré dans une liste.

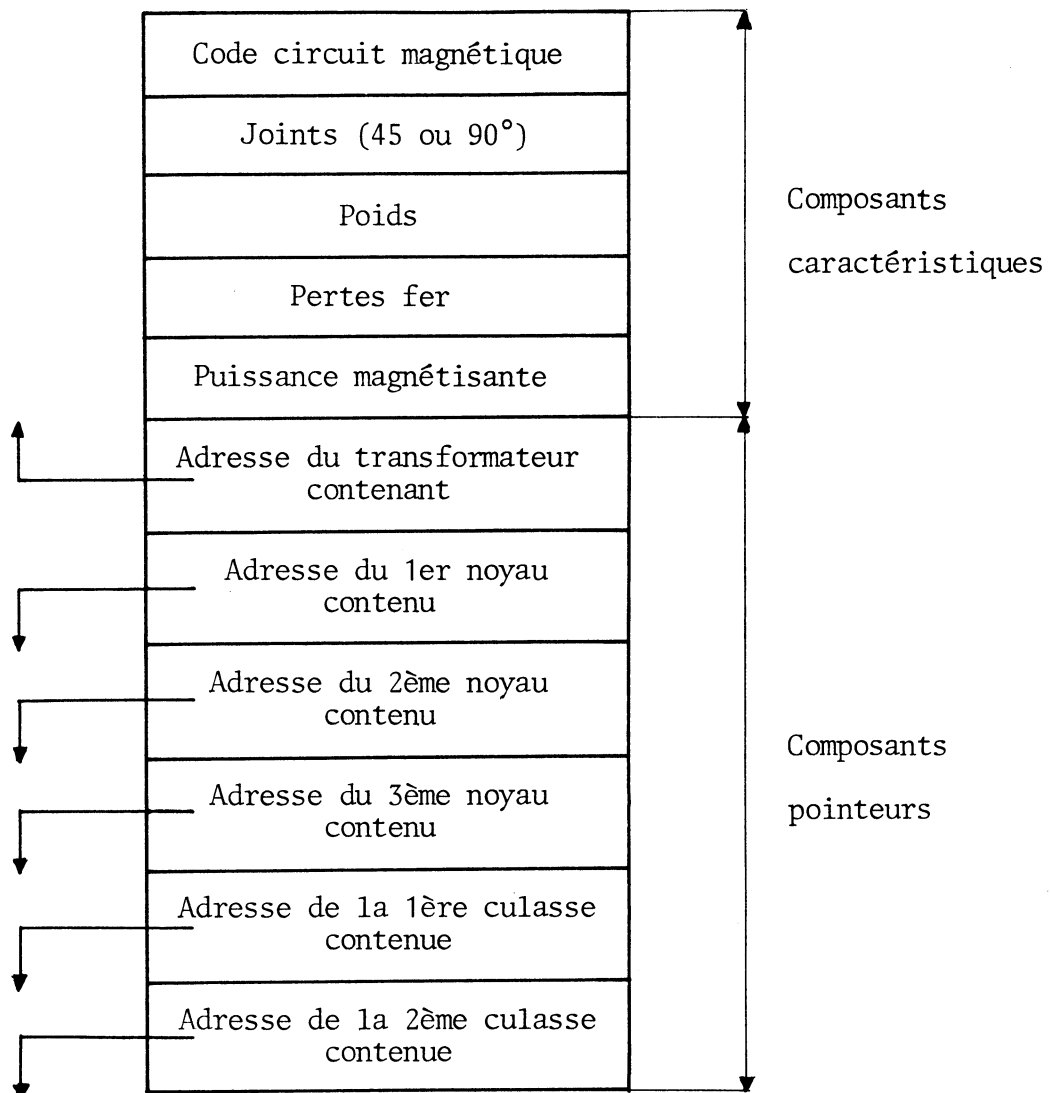


Figure 12 : représentation d'une réalisation de l'entité circuit magnétique

- Créer les liaisons entre les composants, en mettant à jour les pointeurs correspondants dans les blocs. Avant cette mise à jour, le programme vérifie que les contraintes prévues par l'enseignant sont respectées par le modèle de l'étudiant, et signale éventuellement les erreurs.

- Entrer les données (par exemple, pour la figure 12, la valeur des joints du circuit magnétique) à la bonne place dans les blocs.

- Un problème particulier : les composants identiques

Notre but n'est pas d'aller plus avant dans le détail de la méthode que nous venons de décrire, mais de préciser un aspect des problèmes que nous avons rencontrés, et qui met en évidence la difficulté de faire passer les objectifs pédagogiques avant la technique de la programmation.

Pour définir la notion d'identité, considérons deux noyaux d'un même circuit magnétique : ils ont les mêmes caractéristiques géométriques, sont traversés par la même induction, sont formés des mêmes gradins : ils sont dits identiques. On peut alors simplifier les blocs de mémoire correspondants, comme indiqué sur la figure 13.

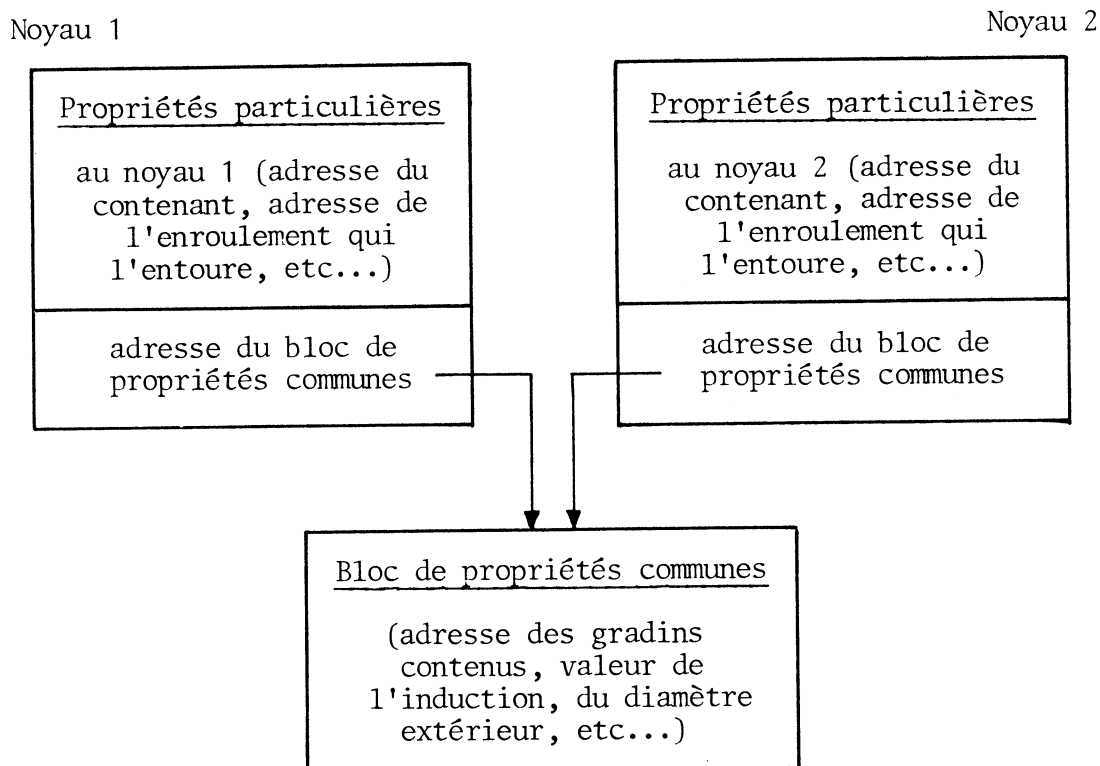


Figure 13 : représentation des blocs de mémoire relatifs à deux noyaux identiques

Toutefois, pour respecter l'identité de certaines caractéristiques, les deux noyaux doivent appartenir au même circuit magnétique (puisque les élèves peuvent décrire plusieurs transformateurs, ils peuvent décrire aussi plusieurs circuits magnétiques différents). Si ce n'était pas le cas, les valeurs de l'induction qui traverse chacun d'eux risqueraient d'être différentes, ce qui est en contradiction avec le fait que l'induction soit dans le bloc des propriétés communes aux deux noyaux.

On peut donc énoncer la règle : "deux composants identiques doivent avoir le même contenant". Si l'élève précise que le noyau 1 est dans le circuit magnétique CM1, le système devra créer automatiquement la liaison entre le noyau 2 et le circuit CM1, pour que soit respectée la règle que nous venons d'énoncer.

Si le cas de noyaux identiques est relativement simple, celui des couches qui composent une galette l'est beaucoup moins, car il faut tenir compte en plus de liaisons éventuelles entre différentes couches. Afin de ne pas imposer à l'élève des restrictions dans l'ordre dans lequel il devait décrire les éléments de son modèle, nous avons dû élaborer un algorithme qui tienne compte de tous les cas possibles de chaînages entre les composants, pour la création des liaisons hiérarchiques.

V - 2 - 2 - La composition des algorithmes de calcul

- La méthode générale

Lorsqu'il élabore le modèle potentiel, l'enseignant est amené à recenser tous les algorithmes de calcul qu'il prévoit d'insérer dans son application. Il peut alors construire un graphe dont chaque noeud est associé à une propriété. La figure 14 représente une partie du graphe construit pour le modèle potentiel du transformateur, dans lequel les carrés représentent les variables indépendantes (les données) et les cercles les variables dépendantes (les paramètres calculables) ; nous avons déjà précisé à la page 21 la distinction entre données et paramètres calculables.

Un tel graphe représente les relations de dépendance entre les variables ; on peut repérer sur ce schéma des niveaux : les variables indépendantes forment le niveau 0, les variables que l'on peut calculer uniquement avec les données sont au niveau 1, les variables cal-

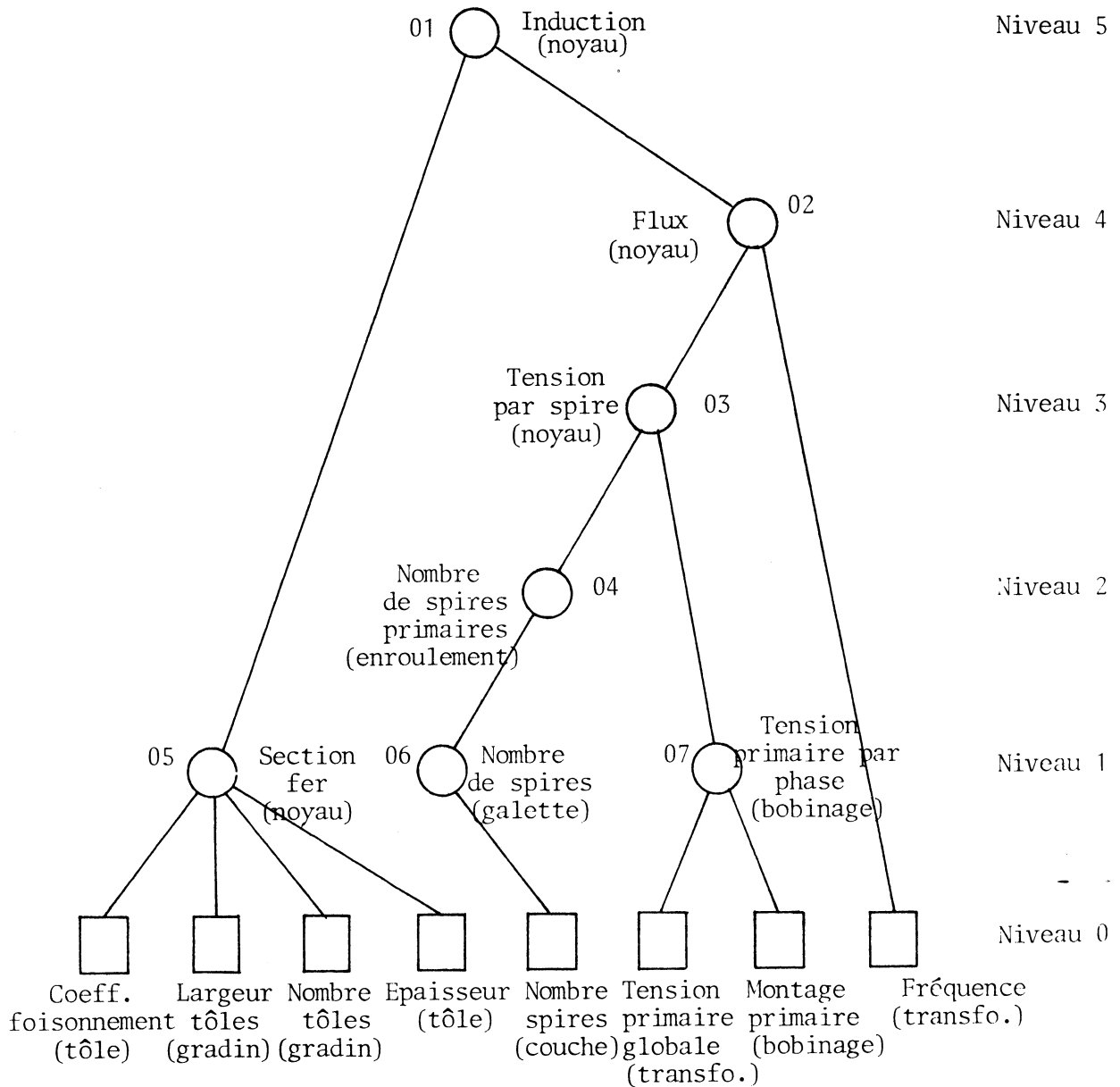


Figure 14 : une partie du graphe de composition des algorithmes de calcul du modèle potentiel du transformateur

culables à partir de propriétés du niveau 1 et de données sont au niveau 2, etc... Pour fixer les idées, signalons que le niveau le plus élevé que nous avons rencontré pour le transformateur porte le numéro 16 (calcul du rendement).

Ayant fait ce travail, il reste à associer à chaque noeud du graphe un code (voir figure 14) qui permettra de repérer deux algorithmes de base :

- le premier, qui contrôle si le modèle de l'étudiant est compatible avec le calcul demandé.
- le second, qui exécute ce calcul à partir des données et des résultats intermédiaires.

Illustrons à partir de l'exemple représenté sur la figure 14 le mode d'enchaînement de ces algorithmes.

Lorsque l'élève tape la commande :

```
"CALCULER INDUCTION N1 ;"
```

l'interpréteur de langage va placer le code du calcul de l'induction (01, sur la figure 14) à la base d'une pile à deux pointeurs (ces pointeurs représentent respectivement l'algorithme qui va être exécuté, et le sommet de la pile, et sont appelés P1 et P2 sur la figure 15). C'est alors le programme exécutif du système qui va utiliser cette pile pour organiser l'enchaînement des algorithmes.

Tout d'abord, le contrôle N° 01 est exécuté. Si une erreur est détectée, un message est envoyé à l'étudiant qui peut alors taper d'autres commandes. Par contre, si le résultat du contrôle est satisfaisant, les codes 02 et 05 seront placés dans la pile, avec les adresses des composants sur lesquels porteront ces algorithmes, et le niveau qui leur est affecté dans le graphe (voir figure 15).

Code de l'algorithme	Adresse des blocs affectés aux composants	Niveau dans le graphe
05	Adresse du bloc affecté au noyau N1	1
02	Adresse du bloc affecté au noyau N1	4
01	Adresse du bloc affecté au noyau N1	6

Figure 15 : la pile pour la composition des algorithmes de calcul, en cours de construction

Alors le pointeur P1 montera d'un rang et le contrôle N° 02 portant sur le noyau N1 sera exécuté ; si le résultat est satisfaisant, le code 03 sera entassé, avec l'adresse du noyau N1 et le niveau 3 ; on passera alors au contrôle N°05, etc... et le processus s'arrêtera lorsque P1 aura rejoint P2.

Si aucune erreur n'a été détectée, le programme exécutif fera exécuter les algorithmes de calcul dont les codes sont entassés dans la pile, en respectant l'ordre des niveaux (calculs du niveau 1, puis du niveau 2, etc...). Le résultat est alors fourni à l'étudiant, qui peut en outre avoir accès à la liste des résultats intermédiaires par une commande simple, comme nous l'avons montré page 21.

- Un apport particulier à la gestion de la pile : le cas des composants identiques

L'étude du mode de composition des algorithmes de calcul, ainsi que la définition que nous avons donnée de la notion de composants iden-

tiques, nous ont amenés à réaliser une simplification notable dans la gestion de la pile que nous venons de décrire.

Nous avons dit que deux composants identiques ont les mêmes propriétés descriptives et fonctionnelles. Par conséquent, il est inutile d'effectuer plusieurs fois le même algorithme de contrôle ou de calcul s'il porte sur des composants identiques entre eux, car on trouverait plusieurs fois le même résultat. Ainsi, le stockage du code d'un algorithme dans la pile se fait par un sous-programme qui vérifie auparavant que la ligne qu'il entasse ne fera pas double emploi.

Nous avons réduit ainsi de façon très notable le nombre des calculs intermédiaires (la "trace") effectués pour obtenir un résultat final. Nous en avons constaté deux conséquences intéressantes :

- la diminution du coût d'exécution, puisque des opérations inutiles ont été supprimées.
- une plus grande clarté dans la présentation de la liste des calculs intermédiaires à l'étudiant. A titre de comparaison, signalons que la "trace" d'un calcul de rendement contient environ 90 lignes, alors qu'elle pouvait en atteindre plusieurs centaines avant cette modification.

CONCLUSION

Nous avons envisagé les trois composants d'ESPACE : l'application, où l'enseignant concrétise ses objectifs pédagogiques propres, le matériel, qui permet à l'élève d'utiliser toutes les possibilités de l'interaction avec l'ordinateur que l'enseignant a mis à sa disposition, et le système, formé d'outils généraux utilisables pour faire fonctionner l'ensemble. Chacun de ces éléments remplit des fonctions particulières qui sont élaborées d'après les réactions des utilisateurs.

Mais, quel que soit le soin que l'on puisse apporter à la réalisation d'une application ou à l'apport d'un matériel nouveau, quelle que soit la manière dont on étudie une modification du système, le succès ou l'échec du travail des étudiants est conditionné par la formation qu'ils reçoivent pour l'utilisation d'ESPACE. C'est ce point que nous allons discuter dans le prochain chapitre, avant d'envisager quelques améliorations possibles de nos méthodes d'évaluation pédagogique.

C H A P I T R E IV

PROBLEMES LIES A LA MISE EN OEUVRE DE LA NOUVELLE APPLICATION

I - INTRODUCTION

Notre travail s'est étendu sur une période de trois années scolaires, entre 1972 et 1975. A partir de la réalisation que nous a fournie J. C. Latombe en 1972 [17], nous avons pu effectuer la première expérimentation pédagogique, que nous avons relatée au chapitre II. Nous avons été en mesure de proposer aux étudiants le logiciel FORTRAN de la nouvelle application dès 1973, version que nous avons continuée à mettre au point pendant le fonctionnement même du système. L'évaluation pédagogique de cette application, effectuée sur les mêmes principes que pour celle de J. C. Latombe, a confirmé les conclusions que nous avons tirées à la suite de cette première expérience [35] ; nous ne détaillerons donc pas ici les modalités de son déroulement. Toutefois, quelques remarques que nous avons faites nous ont amenés à compléter le système ESPACE par l'adjonction de certains éléments nouveaux (machine à calculer, projection de diapositives, etc...) en 1974.

Pour la rentrée scolaire de 1975, nous sommes en mesure de proposer une application "TRANSFO" du système ESPACE suffisamment fiable et économique pour qu'elle soit intégrée dans la scolarité de l'école. Il sera alors possible d'étudier l'impact de l'utilisation d'un tel système sur les autres méthodes d'enseignement, ce qui n'a guère pu être fait jusqu'à maintenant à cause du caractère marginal de notre expérience.

A la suite des trois années de fonctionnement de l'application "TRANSFO", nous avons pu rassembler les informations nécessaires pour comprendre les difficultés que rencontrent les utilisateurs, et leur donner les moyens de les surmonter par une formation appropriée.

II - LA FORMATION DES UTILISATEURS

Nous avons retenu deux moyens de familiariser les étudiants avec ESPACE :

- un manuel d'utilisation, qu'ils conservent tout au long de leur travail,
- une présentation orale, qui comprend un exposé général, une démonstration du fonctionnement des appareils et une séance d'exercice.

II - 1 - Le manuel d'utilisation | 25 |

Le manuel d'utilisation doit remplir trois fonctions essentielles :

- Définir avec précision le modèle électrotechnique utilisé dans l'application. Il ne s'agit pas de se substituer au cours de construction et de technologie, mais de faire le lien entre ces cours et l'utilisation du système. Les étudiants y trouvent d'une part l'explication et l'illustration de certains concepts nécessaires pour décrire la machine, et d'autre part des détails sur les hypothèses et les limites de validité des calculs qu'ils peuvent faire effectuer. C'est à cette partie qu'ils se reporteront pour trouver la signification d'un terme de vocabulaire, expliquer les relations entre des paramètres électriques ou géométriques, déterminer la cause de leurs erreurs, vérifier un résultat de calcul, etc...

- Faciliter à l'utilisateur la description de son propre modèle suivant la formalisation et les commandes d'ESPACE. Il ne suffit pas d'avoir une idée claire de ce que l'on veut décrire. Encore faut-il trouver les moyens de le faire, et l'un des rôles que remplit le manuel est de fournir les recettes nécessaires pour que l'élève adapte l'utilisation d'ESPACE à son désir, et non l'inverse ! Un certain nombre de difficultés soulevées par les étudiants ne sont qu'apparentes, mais seule l'expérience montre à l'enseignant les points délicats. C'est pourquoi le manuel d'utilisation est resté longtemps "provisoire".

- Donner tous les détails pratiques. L'élève doit trouver rapidement, dès qu'il en a besoin, les indications sur le fonctionnement d'un terminal ou la rédaction d'une commande. Ce sont souvent de tels problèmes techniques qui arrêtent et rebutent les étudiants dans leur travail. Habituer l'utilisateur à se servir d'une notice technique est l'un des buts que nous poursuivons. Encore faut-il le faire progressivement, et ne pas s'attendre à ce que les élèves soient immédiatement à l'aise devant tant d'éléments nouveaux.

La densité d'information à inclure dans ce manuel a été la difficulté essentielle que nous avons rencontrée dans sa rédaction. Il faut en effet marquer clairement les trois niveaux d'utilisation de ce document, afin que l'élève ne se perde pas dans des détails peu importants, et ne se décourage pas devant la quantité de points soulevés. Premièrement, on distingue la documentation à lire avant d'aborder le travail sur le projet, que constituent les rappels de cours et les considérations sur le modèle de transformateur descriptible avec le système. C'est à ce niveau que l'étudiant prend conscience du problème qu'il a à résoudre et trouve les éléments de réflexion indispensables. Ensuite, il peut rechercher le langage de commande, et étudier la meilleure façon de décrire son modèle : le manuel devient alors une notice où chaque commande est expliquée et illustrée. Enfin, on peut y trouver une liste des opérations à effectuer devant certaines difficultés qui surgissent pendant le travail sur les consoles (mise en marche d'un terminal, par exemple). Il est indispensable que les utilisateurs sachent retrouver rapidement ces indications.

II - 2 - La présentation du système

L'apprentissage de l'utilisation d'ESPACE par les étudiants doit comporter une phase de présentation du matériel et de la philosophie sous-jacente à ce genre de système. Plusieurs moyens sont utilisés.

- Un exposé général

Bref, fait devant des groupes de taille moyenne pour favoriser le dialogue (20 à 25 personnes), cet exposé présente les principes essentiels du fonctionnement du système, et développe les problèmes posés par son environnement informatique (système CP/CMS en particulier), qui peuvent difficilement être inclus dans le manuel sous peine de le compliquer et le grossir exagérément.

- Une démonstration avec le matériel

De petits groupes de quatre à six étudiants se succèdent dans la salle des terminaux, afin de se familiariser avec le fonctionnement des consoles et l'organisation générale de la salle. Cette étape est indispensable si l'on veut laisser aux élèves la liberté de travailler seuls et quand ils le désirent. De plus, ce peut être l'occasion de démystifier l'ordinateur, si cela s'avère nécessaire.

- Une séance d'exercice

Les dernières pages du manuel d'utilisation sont constituées par un exemple commenté de travail sur le système ESPACE. Il est conseillé aux élèves de venir le refaire eux-mêmes sur les consoles, de façon qu'ils prennent contact avec les terminaux, les claviers, l'activation du système, les commandes, sans y mêler le problème propre à leur projet. La plupart des groupes suivent ce conseil, et nous avons remarqué ensuite chez eux une plus grande aisance dans le maniement de ces outils.

- Une aide particulière à chaque groupe

Des explications de détails doivent être généralement données à chacun des groupes, et il est important que l'enseignant soit présent pendant la première séance de travail pour répondre aux questions. Il est intéressant de noter le déplacement des sujets des questions que posent les étudiants, qui passent d'informations sur le fonctionnement du système ou des terminaux à des problèmes plus techniques sur le transformateur, au fur et à mesure de l'avancement de leur travail.

II - 3 - Les principales difficultés rencontrées par les étudiants

Outre une certaine appréhension devant le matériel nouveau que l'on met à leur disposition (ce que nous avons remarqué dès la première expérimentation du système), l'une des difficultés principales qu'ont rencontrée les étudiants provient d'un facteur étranger au système ESPACE. : l'environnement informatique, et plus particulièrement les systèmes CP et CMS.

En effet, du fait que les commandes d'ESPACE sont toutes structurées de la même manière, les étudiants sont désorientés par les commandes d'activation et d'arrêt de l'environnement CP/CMS ainsi que par certains messages. Cela pose le problème de faire fonctionner un système tel qu'ESPACE en libre service total, sans une surveillance partielle. L'implantation de ce système sur un petit calculateur peut donner l'occasion de réduire l'importance de ces problèmes en réalisant des interfaces orientés vers une utilisation par des élèves, mais il semble difficile de supprimer totalement ces facteurs.

Enfin, il faut noter que le nombre des commandes devient vite un handicap pour les élèves. Vouloir donner trop de souplesse au système, multiplier les possibilités dans la description de la machine, le calcul, ou la définition par l'utilisateur de son poste de travail complique vite la liste des commandes ! L'un des moyens de répondre à

cette difficulté est de faire utiliser ce type de système dès la première année de la scolarité, dans le cadre de travaux dirigés ou de travaux pratiques par exemple. Ainsi, le temps d'apprentissage indispensable serait investi une fois pour toutes, et servirait dans plusieurs domaines.

Bien entendu, il est toujours possible - et souhaitable - de modifier ESPACE suivant les observations que l'on peut faire sur les réactions des utilisateurs. Nous avons schématisé cette interaction entre l'élève et le système sur la figure 16.

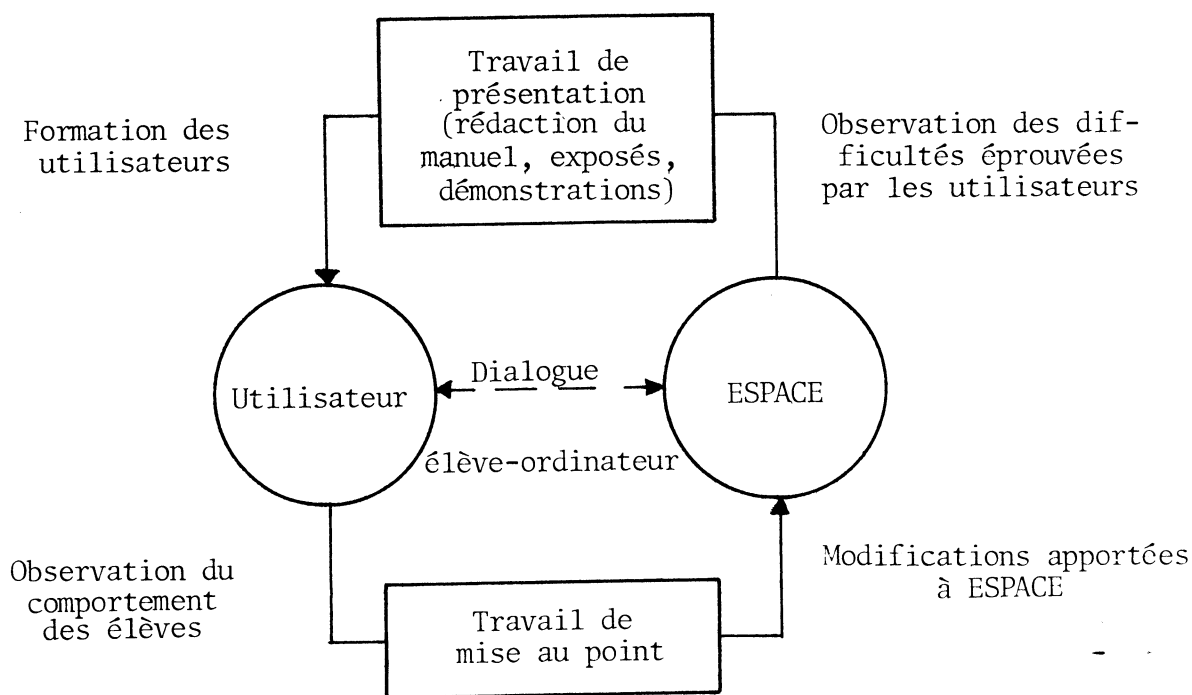


Figure 16 : interactions entre les élèves et ESPACE

Mais il nous semble plus intéressant de se servir d'ESPACE comme d'un point de départ pour forger des outils qui permettent de

mieux appréhender la démarche des étudiants lors de leur travail de conception. C'est pourquoi nous avons été amenés à rediscuter les moyens que nous avons utilisés lors de notre évaluation pédagogique.

III - LA QUESTION DE L'EVALUATION PEDAGOGIQUE

III - 1 - Critique des moyens que nous avons utilisés

Les méthodes d'évaluation pédagogique que nous avons discutées dans le chapitre II ne sont pas seulement critiquables sur le plan de l'objectivité des résultats et des conclusions. En effet, que cherche-t-on à faire à travers ces tests et ces observations ? On voudrait percevoir une stratégie, analyser une méthode de travail à travers des constatations limitées sur un état initial et un état final, et des conclusions sur un comportement superficiel des étudiants.

Ceci ne veut pas dire que nous rejetons le travail que nous avons réalisé. Nous pensons que, malgré la pauvreté des informations recueillies, nous avons été en mesure de comparer chez les élèves l'impact d'orientations de travail différentes et de discerner des éléments positifs dans l'utilisation du système ESPACE. Nous nous posons simplement la question de savoir comment aller plus loin dans notre analyse, cerner de manière plus précise la démarche des étudiants.

Nous pensons qu'un premier pas pourrait être franchi en recueillant des informations non plus seulement au début et à la fin du travail sur le projet, mais en "pointillé" tout au long du processus de conception. Ce serait une étape intermédiaire avant de pouvoir travailler directement sur le matériel que nous avons accumulé en stockant les commandes de chacun des groupes qui ont travaillé sur le système. D'autre part, des tests plus précis donneraient des renseignements non seulement sur les réactions et les acquis de chaque étudiant, mais aussi sur les différences au niveau des groupes ou des classes (groupe témoin, groupe "cobaye", etc...).

III - 2 - Le système POLICY

Dans ce but, nous avons étudié un ensemble de programmes mis au point à l'Université du Colorado (U.S.A.) : le système POLICY [36]. Elaborée dans le cadre d'études sur le comportement des individus [37], par l'équipe dirigée par le Professeur Hammond^x, la méthode d'analyse sous-jacente à ce système est basée sur les théories de Egon Brunswik [38], et plus particulièrement le modèle de la lentille. Disons en quelques mots ce que représente ce modèle [39].

Le modèle de la lentille. Un sujet S estime la réalité, porte un jugement sur un phénomène (la "variable distante") à travers un certain nombre de facteurs. Il existe alors une corrélation entre :

- le phénomène et les facteurs,
- l'estimation que fait le sujet, et les facteurs,
- et entre les facteurs eux-mêmes.

On peut dire que l'on désire que le sujet S ait une bonne image des phénomènes, mais il est impossible d'avoir une idée précise du moment où ce but sera atteint sans analyser les différentes corrélations. On arrive ainsi à un problème statistique de régression multiple. La figure 17 illustre ce que nous venons de dire.

Prenons un exemple. Un étudiant se fera une idée de la méthode qu'il utilise pour concevoir une machine électrique en privilégiant un certain nombre de facteurs :

- l'utilisation des documents relatifs à d'autres machines du même type.

^x Professeur à l'Institute of Behavioral Science, Boulder, Colorado (U.S.A.)

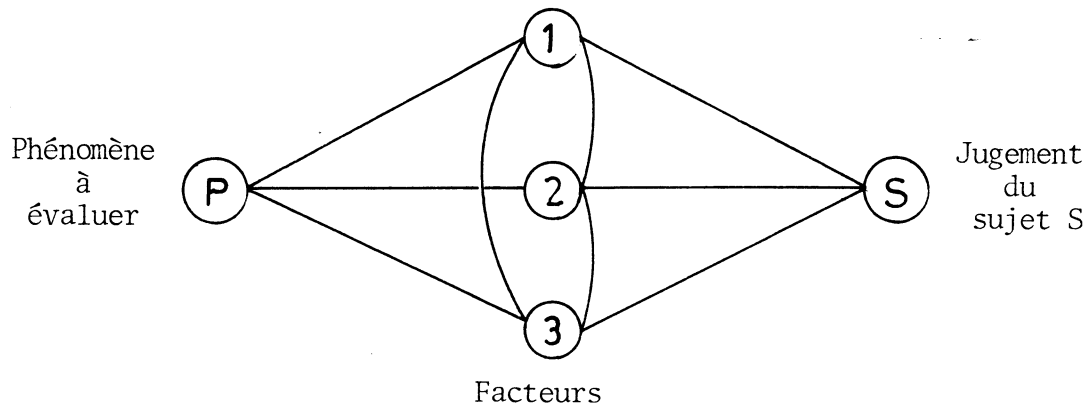


Figure 17 : le modèle de la lentille

- le hasard.
- la prédétermination de parties de sa machine.
- une méthode itérative.

Il attribue à chacun de ces facteurs un poids, et porte alors un jugement sur le déroulement de son travail en fonction des relations qu'il a établies entre le phénomène et les facteurs. Insistons sur le fait que cet exemple n'est qu'une illustration de notre propos, mais que nous n'avons pas l'ambition de réduire un problème aussi complexe aux quatre facteurs que nous avons évoqués.

Que ferait alors POLICY ?

La fonction du système est double. Tout d'abord, une présentation des tests (les "essais"). Sur le cas précédent, on pouvait présenter à un sujet une vingtaine de situations différentes, caractérisée chacune par des combinaisons variées des quatre facteurs proposés sous une forme quantifiée (prenant une valeur de 1 à 10 suivant leur importance) ; pour chacun de ces "essais", on demanderait à l'utilisateur de juger le phénomène représenté (ici, la méthode de conception) en lui mettant une note. Le test se présenterait alors ainsi :

Essai 1

Utilisation de documents XXXXXX (utilisation des documents importante)
Hasard XXXXXXXX (beaucoup de facteur hasard)
Prédétermination XX (peu de prédétermination des diverses parties de la machine)
Méthode itérative XXXX (un nombre moyen d'itérations)

Votre jugement sur la méthode représentée ? = (notez entre 0 et 20).

Essai 2, essai 3, ... etc...

A partir des vingt jugements donnés par le sujet, les programmes calculent les coefficients de corrélation multiple, et donnent ainsi une image des relations qu'établit l'utilisateur - souvent inconsciemment - entre les facteurs et son propre jugement. Par exemple (figure 18) :

	Vous établissez une :	Avec le poids :
Utilisation des documents	Relation du 2ème degré	Poids 0.3
Hasard	Relation du 1er degré	Poids 0.05
Prédétermination	Relation du 2ème degré	Poids 0.5
Méthode itérative	Relation du 1er degré	Poids 0.15

Figure 18 : présentation des résultats à l'utilisateur de POLICY

Comment est utilisé POLICY ? |40|, |41|, |42|

La présentation que nous venons de faire est très schématique. Toutefois, elle donne une idée des différentes façons dont peut être utilisé ce système :

- Dans un but d'entraînement à un jugement cohérent sur un phénomène [43] : on peut facilement habituer des sujets à établir des relations simples entre un nombre réduit de facteurs et un phénomène, en corrigeant chacune de ses réponses en fonction d'un modèle que l'on a décrit précédemment au système.

- Dans un but de résolution de conflits : c'est le principal usage qui en est fait par l'équipe du Professeur Hammond [44]. Deux sujets sont mis en présence des mêmes situations, et portent des jugements personnels sur les phénomènes présentés. Peu à peu, ils arrivent à discerner les différences entre leurs façons de réagir, à mieux se comprendre, et souvent à élaborer un compromis. De tels procédés sont utilisés dans la pratique, par exemple pour mettre d'accord un architecte et son client sur des problèmes d'esthétique.

Comment nous pensons pouvoir utiliser POLICY

Dans notre cas particulier, nous avons entrevu plusieurs façons de tirer parti de ces programmes.

- Tout d'abord, en présentant aux étudiants des problèmes techniques ; on nous répondra qu'il n'est pas besoin d'aller chercher des analyses statistiques : vérifier que l'élève connaît ses formules est suffisant. Mais nous pensons qu'il est bon de se rendre compte si les étudiants non seulement possèdent une connaissance quantifiée et formalisée des phénomènes, mais aussi s'ils ont acquis une expérience des ordres de grandeur et des relations entre les paramètres, qui ne s'appuie pas directement sur des formules. On posséderait ainsi un moyen de systématiser et de généraliser ces tests, à la fois sur chaque élève, et en fonction de regroupements (suivant l'origine scolaire, la nature du projet, etc...).

- Il serait alors possible, pour les étudiants qui utilisent ESPACE, de faire ces tests tout au long de leur travail, en liaison avec les commandes qu'ils tapent et le cheminement qu'ils suivent. On aurait

ainsi une idée des connaissances qu'ils acquièrent à chaque étape de leur réflexion.

- De plus, on peut développer l'exemple que nous avons donné pour l'illustration du fonctionnement de POLICY, bien qu'il soit très simpliste. Il est facile de réaliser des sortes de "jeux d'entreprise", en demandant aux étudiants de juger les réactions d'ingénieurs en face de décisions à prendre. L'analyse de leurs réponses mettrait en évidence les paramètres qu'ils jugent effectivement importants dans les prises de décision.

Nous n'avons pas pu mettre en pratique ces idées, car l'implantation par C. Bévier^x du système POLICY sur l'ordinateur T 1600 de l'E.N.S.E.G.P. est encore en cours actuellement. Mais nous pensons qu'il pourra nous faire progresser dans la connaissance des processus d'apprentissage en matière de prise de décision.

^x Ingénieur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et de Génie Physique de Grenoble.

C O N C L U S I O N

A la suite des travaux de J. C. Latombe et J. C. Sabonnadière, nous disposons du prototype d'un système d'enseignement assisté par ordinateur orienté vers la conception d'ensembles techniques, et basé sur des principes nouveaux. Certes, cette première version fonctionnait et semblait conforme à ce que l'on en attendait, mais elle n'avait jamais été éprouvée en présence des étudiants.

Disposant de cet outil d'enseignement original, nous avons cherché à en évaluer la portée et l'efficacité dans des conditions réelles de fonctionnement au sein de l'environnement pédagogique de l'Ecole. Au cours de ces trois années d'expérimentation, nous avons pu mettre en lumière l'un des points les plus intéressants de ce type d'enseignement assisté par ordinateur : une incitation constante à la réflexion personnelle et un entraînement à la prise de décision.

Cependant, certaines lacunes dans la réalisation du système initial rendaient quelquefois le travail sur ESPACE difficile ou fastidieux, ce qui masquait en partie le bien-fondé des principes pédagogiques de base et le caractère formateur de l'ensemble. Après avoir fait cette analyse, nous avons réalisé une version maniable et fiable de l'application d'ESPACE relative aux transformateurs, de manière à éprouver dans de bonnes conditions les qualités que nous avons perçues sur le premier système. Nous nous sommes alors rendus compte que le temps et les connaissances informatiques nécessaires pour mener à bien ce travail pouvaient constituer un handicap important pour un enseignant qui voudrait programmer une application. Les recherches de P. Massé^x sur la

^x Chercheur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et de Génie Physique de Grenoble.

génération d'applications, en cours actuellement, doivent permettre de pallier cette difficulté et de donner au spécialiste d'une matière ou d'un sujet les moyens de profiter de l'apport pédagogique du système ESPACE.

Les enseignements que nous avons tirés de notre expérience nous ont conduits à adjoindre à notre réalisation plusieurs outils destinés à compléter l'interface entre l'utilisateur et le système, et à aider l'enseignant dans son analyse pédagogique. En particulier, la mise en place du logiciel nécessaire au fonctionnement tant manuel qu'automatique des projecteurs de diapositives, et la recherche d'une méthodologie d'utilisation de programmes tels que le système POLICY donnent une dimension nouvelle au système ESPACE.

A la suite de ce travail, nous avons pu mettre à la disposition des enseignants de l'Ecole une application dont le fonctionnement soit suffisamment économique pour que son utilisation soit étendue à la plupart des projets de deuxième année. Toutefois, l'environnement informatique dans lequel fonctionne ESPACE (les systèmes CP et CMS) apporte une gêne importante aux élèves. Ce problème pourra être très prochainement résolu grâce au système élaboré par M. Campmas^{*} pour permettre l'implantation d'ESPACE sur un petit calculateur (T 1600 - Télémécanique) propre à l'Ecole.

Ces trois années d'expérience nous ont donné la certitude que le mode d'utilisation de l'ordinateur que propose le système ESPACE fait appel de façon rationnelle aux multiples possibilités de ce type de matériel. Il y a là peut-être une nouvelle voie pour l'enseignement assisté par ordinateur, qui pourrait permettre, par une analyse de la démarche des étudiants, de progresser dans la connaissance des processus d'apprentissage.

* Chercheur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et de Génie Physique de Grenoble.

A N N E X E 1

LISTE DES CARACTERISTIQUES
DU TRANSFORMATEUR CONSIDEREES COMME DES DONNEES

Ces caractéristiques sont présentées pour chacune des entités définies sur la figure 5, page 19. Les mots écrits en lettres majuscules sont ceux que les élèves utilisent dans leurs commandes d'entrées de données.

Bobinage

MONTAGE PRIMAIRE (Y, YN ou D)
MONTAGE SECONDAIRE (Y, YN ou D)

Circuit magnétique

JOINTS (45° ou 90°)

Conducteur

RESISTIVITE ELECTRIQUE

nom de l'ISOLANT

EPAISSEUR d'ISOLEMENT

TYPE du CONDUCTEUR (ROND ou MEPLAT)

Conducteur de type rond : DIAMETRE du BRIN NU

Conducteur de type méplat : LARGEUR du BRIN NU

EPAISSEUR du BRIN NU

NOMBRE de BRINS PARALLELES au NOYAU

NOMBRE de BRINS PERPENDICULAIRES au NOYAU

Couche

NOMBRE de SPIRES

Culasse

LONGUEUR MOYENNE (seulement en "prédétermination" du circuit magnétique)

Cuve

LONGUEUR INTERNE des TRAVERSEES isolantes

EPAISSEUR des CALES (sur lesquelles repose le transformateur)

JEUX (distance entre le transformateur et les parois verticales de la cuve)

TYPE de la CUVE (ONDULE ou LISSE)

cuve ondulée : PROFONDEUR D'ONDULATIONS

DISTANCE entre ONDULATIONS

NOMBRE d'ONDULATIONS

Enroulement

DIAMETRE d'ENROULEMENT (seulement en "prédétermination" du bobinage)

Galette

COEFFICIENT de FOISSONNEMENT VERTICAL

COEFFICIENT de FOISSONNEMENT RADIAL

APPARTENANCE (PRIMAIRE ou SECONDAIRE)

Gradin

LARGEUR

NOMBRE de TOLES

Intervalle

EPAISSEUR

Isolant

RIGIDITE DIELECTRIQUE
CONSTANTE DIELECTRIQUE
CONDUCTIBILITE THERMIQUE

Noyau

HAUTEUR MOYENNE (seulement en "prédétermination" du
INDUCTION circuit magnétique)

Réfrigérant

CONSTANTE d'ECHAUFFEMENT SUPERFICIEL

Spirale

NOMBRE de SPIRES

Tôle

EPAISSEUR NUE
COEFFICIENT de FOISSONNEMENT
MASSE VOLUMIQUE
courbe des PERTES par KILO en FONCTION de l'INDUCTION
courbe de PUISSANCE MAGNETISANTE par KILO en FONCTION de l'INDUCTION

Transformateur

FREQUENCE
TENSION PRIMAIRE GLOBALE
INTENSITE SECONDAIRE GLOBALE
COSINUS SECONDAIRE (AVANT ou ARRIERE)

N.B. : Aucune donnée n'est prévue au niveau de l'empilage.

A N N E X E 2

LISTE DES CARACTERISTIQUES DU TRANSFORMATEUR
CALCULABLES PAR LE SYSTEME ESPACE

De même que pour la liste des données, ces caractéristiques sont présentées pour chacune des entités de la figure 5, page 19. Les mots écrits en lettres majuscules sont ceux que les élèves utilisent dans leurs commandes de calculs.

Bobinage

INTENSITE SECONDAIRE par PHASE
TENSION PRIMAIRE par PHASE
CHUTE RESISTIVE par PHASE RAMENEE au SECONDAIRE
CHUTE INDUCTIVE par PHASE RAMENEE au SECONDAIRE
PERTES CUIVRE

Circuit magnétique

POIDS
PERTES FER
PUISSANCE MAGNETISANTE

Conducteur

SECTION CUIVRE

Culasse

LONGUEUR MOYENNE

EPAISSEUR
NOMBRE de TOLES
SECTION FER
POIDS
INDUCTION
PERTES FER
PUISSANCE MAGNETISANTE

Cuve

LONGUEUR INTERNE
LARGEUR INTERNE
PROFONDEUR INTERNE
EPAISSEUR d'ONDULATIONS
SURFACE TOTALE
SURFACE UTILE
EVACUATION UNITAIRE

Empilage

HAUTEUR TOTALE
DIAMETRE d'ENROULEMENT
EPAISSEUR
NOMBRE de SPIRES PRIMAIRES
NOMBRE de SPIRES SECONDAIRES
RESISTANCE PRIMAIRE
RESISTANCE SECONDAIRE
PERTES PRIMAIRES
PERTES SECONDAIRES

Enroulement

HAUTEUR TOTALE
DIAMETRE d'ENROULEMENT
EPAISSEUR
NOMBRE de SPIRES PRIMAIRES

NOMBRE de SPIRES SECONDAIRES
RESISTANCE PRIMAIRE
RESISTANCE SECONDAIRE
PERTES PRIMAIRES
PERTES SECONDAIRES
INDUCTANCE de FUIITE RAMENEE au SECONDAIRE

Galette

HAUTEUR TOTALE
DIAMETRE d'ENROULEMENT
EPAISSEUR
NOMBRE de SPIRES
RESISTANCE TOTALE
PERTES JOULE
PERTES SUPPLEMENTAIRES (par effet de peau)
DENSITE de COURANT
ECHAUFFEMENT MAXIMAL

Intervalle

TENSION MAXIMALE ISOLEE

Noyau

HAUTEUR MOYENNE
EPAISSEUR
NOMBRE de TOLES
SECTION FER
DIAMETRE EXTERIEUR
COEFFICIENT d'UTILISATION
TENSION par SPIRE
FLUX
INDUCTION
POIDS

PERTES FER

PUISSANCE MAGNETISANTE

Réfrigérant

ECHAUFFEMENT MOYEN

ECHAUFFEMENT MAXIMAL

Transformateur

RAPPORT de TRANSFORMATION GLOBAL

TENSION SECONDAIRE à VIDE GLOBALE

INTENSITE PRIMAIRE à VIDE GLOBALE

CHUTE RESISTIVE GLOBALE RAMENEE au SECONDAIRE

CHUTE INDUCTIVE GLOBALE RAMENEE au SECONDAIRE

TENSION de COURT CIRCUIT

COSINUS de COURT CIRCUIT

TENSION SECONDAIRE en CHARGE GLOBALE

PUISSANCE APPARENTE SECONDAIRE

PUISSANCE SECONDAIRE

PERTES SUPPLEMENTAIRES

PERTES TOTALES

PUISSANCE PRIMAIRE

RENDEMENT

N.B. : Aucune caractéristique calculable n'a été prévue au niveau du gradin, de la couche ou de la spirale, de la tôle, de l'isolant.

A N N E X E 3

GESTION DU RYTHME DE
PROJECTION DES DIAPOSITIVES

I - LE TRAVAIL DE L'ENSEIGNANT

L'enseignant utilise l'application "DIAPOS" du système ESPACE pour deux choses :

- décrire les regroupements de diapositives par centre d'intérêt.
- choisir le rythme de projection des photos pour chaque groupe.

I - 1 - La description des groupements de diapositives

Le système de projection que nous avons prévu actuellement se compose de deux projecteurs de type Kodak Carousel SRA, dont les "paniers" peuvent contenir chacun 80 diapositives ; nous disposons donc de 160 adresses dans ces paniers.

Il est évident que l'on peut affecter plusieurs photos à certaines des commandes de l'application "TRANSFO" : d'où l'idée de définir des groupes de diapositives, qui se rapportent chacun à une commande de description ou de calcul du transformateur.

L'application "DIAPOS" permet de décrire ces groupements, c'est-à-dire de préciser les adresses des diapositives (comprises entre 1 et 160) qui appartiennent à chaque groupe, repéré lui-même par un numéro d'ordre. Donnons un exemple de fonctionnement :

```
- PLACER DIAPOSITIVE 132 ;  
A QUEL GROUPE APPARTIENT CETTE DIAPO ?  
- 8  
IL Y A 1 DIAPO(S) DANS CE GROUPE
```

Par cette courte séquence, l'enseignant a affecté la diapositive n° 132 au groupe n° 8. D'autres commandes de suppression de diapositives, ou d'interrogation de l'état de ce qui a déjà été décrit sont à la disposition de l'utilisateur pour qu'il puisse modifier rapidement son travail.

I - 2 - Le choix d'un rythme de projection à affecter à chaque groupe

Afin de ne pas saturer l'élève par des projections trop fréquentes ou trop répétées, nous avons prévu de "régler" le rythme des projections pour chacun des groupes. En effet, il était important de tenir compte des différences entre les fréquences d'utilisation par les élèves de chacun des types de commandes de l'application "TRANSFO", et donc de particulariser chaque groupe de diapositives.

Pour définir ce rythme, nous avons choisi trois critères. Avant de pouvoir les discuter, il nous faut préciser la manière dont le sous-programme PROJECT provoquera la projection d'une photo :

- chaque algorithme d'exécution des commandes de description ou de calcul du transformateur tapées par l'élève fait appel au sous-programme PROJECT : c'est ce que nous appellerons une sollicitation de projection.

- si la projection est possible (c'est-à-dire si un groupe de diapositives a été affecté à cette commande, si des diapositives sont contenues dans ce groupe, si les critères de définition du rythme de projection sont compatibles avec les projections déjà effectuées pour ce projet), alors le sous-programme PROJECT déclenchera le projecteur.

Nous pouvons maintenant définir les critères que nous avons retenus :

- AP : pour chacun des groupes, AP représente le nombre de sollicitations qu'on laisse passer entre les projections de deux diapositives de ce groupe (c'est un temps de "repos" entre deux photos relatives à un même sujet).
- NS : lorsque toutes les photos d'un groupe ont été passées au moins une fois, on attend NS séances de travail des élèves avant d'autoriser à nouveau la projection des diapositives de ce groupe.
- P : lorsque toutes les photos d'un groupe ont été passées deux fois ou plus, on attend P séances de travail des élèves avant d'autoriser à nouveau la projection des diapositives de ce groupe ("périodicité" des rappels de projections pour le groupe).

Une commande très simple permet à l'enseignant de préciser les critères qu'il a choisis :

- DEFINIR CRITERES GROUPE 8 ;

AP = ?

- 5

NS = ?

- 4

P = ?

- 5

OK. DEFINITION TERMINEE

II - COMMENT CES INFORMATIONS SONT STOCKEES

Les programmes de l'application "DIAPOS" utilisent le sous-programme de gestion dynamique de mémoire du système ESPACE. C'est grâce à cette homogénéité de la structuration des informations entre les applications "DIAPOS" et "TRANSFO" que les programmes de cette dernière pourront avoir accès aux critères de projection des diapositives.

II - 1 - Les adresses des diapositives

Comme pour les entités du modèle potentiel du transformateur, les informations relatives aux diapositives sont stockées dans un bloc de mémoire formé de sous-blocs chaînés (voir figure 19), et repéré par le nom ~~DD~~DIAPOS.

Pourquoi tant de chaînages ? Simplement pour profiter des possibilités du programme de gestion de mémoire. Afin de ne pas utiliser inutilement de la place, nous avons choisi de pouvoir modifier dynamiquement et le nombre de groupes, et le nombre de diapositives par groupe. C'est pourquoi :

- les groupes sont rajoutés par des rallonges de 10, avec une case qui pointe vers un bloc de "critères" de 10 cases.
- les cases pour les adresses des diapositives contenues dans les groupes sont aussi rajoutées dynamiquement.

II - 2 - Le codage des critères

Pour chaque groupe les trois critères : AP, NS et P sont codés sur un seul entier, de la façon suivante (figure 20) :

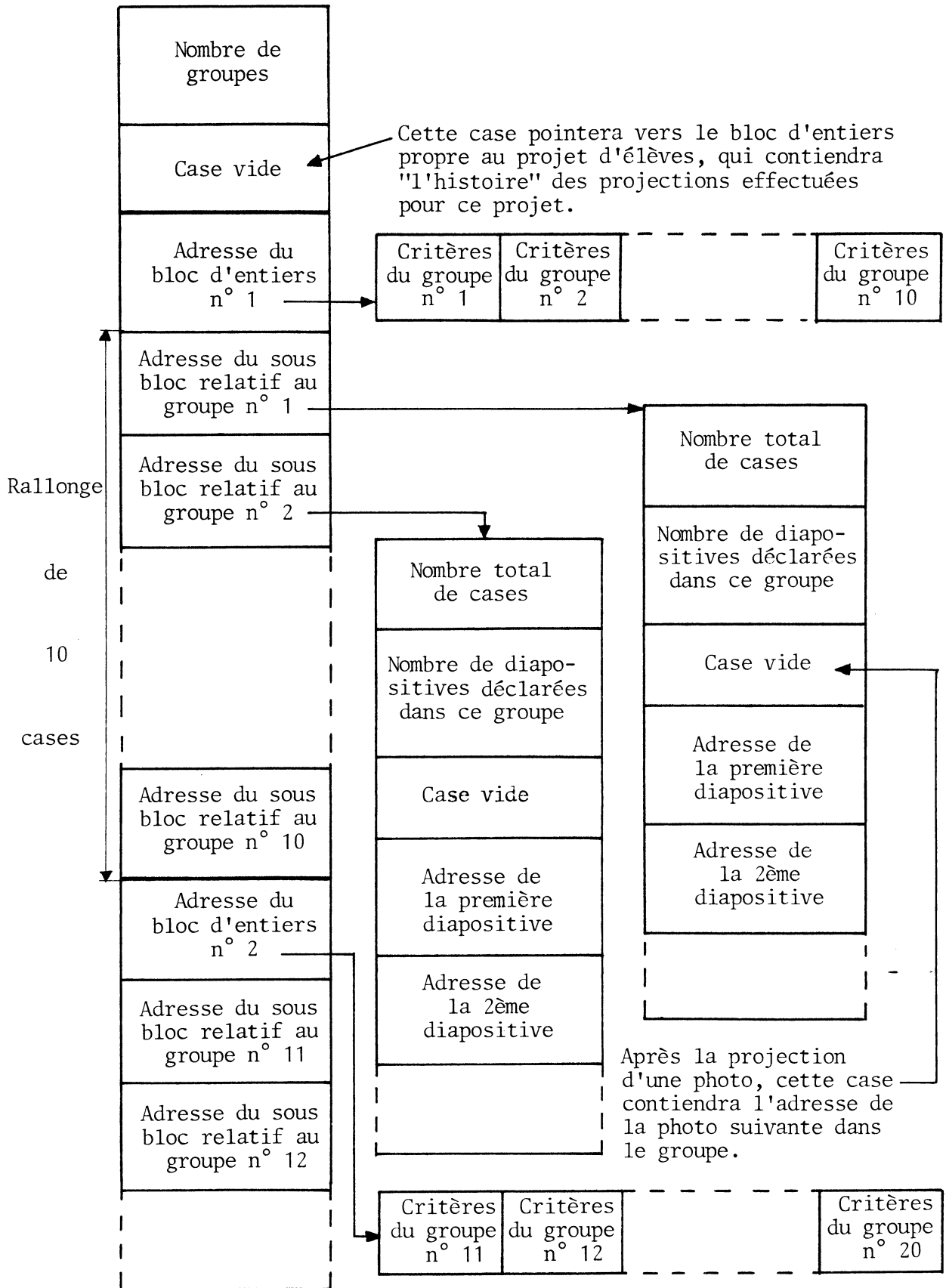


Figure 19 : Structuration des informations relatives aux groupes de diapositives définis par l'application DIAPOS

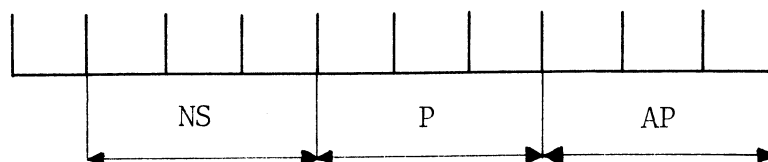


Figure 20 : codage des critères de projection des diapositives sur un entier de 10 chiffres

C'est à dire que si CRITERE est le nom de cet entier, on aura :

$$\text{CRITERE} = \text{AP} + 1\ 000 \cdot \text{P} + 1\ 000\ 000 \cdot \text{NS}$$

ce qui est réalisable par un programme FORTRAN simple, et donc compatible avec le choix de ce langage pour la programmation des applications.

Nous avons exposé schématiquement comment l'enseignant peut décrire les regroupements de diapositives, et leur affecter des critères pour régler le rythme des projections. Il nous reste à voir comment ce rythme sera adapté à chaque projet d'élèves.

III - L'ADAPTATION DU RYTHME DES PROJECTIONS A CHAQUE PROJET

Nous avons vu que l'application "TRANSFO" n'impose aucun ordre particulier dans les commandes que les élèves peuvent utiliser. Il fallait donc que notre procédé de gestion des diapositives s'adapte à chaque cas particulier de projet.

Lorsque l'enseignant a terminé sa description des groupements de vues, les informations contenues dans les blocs représentés sur la figure 20 sont sauvegardées dans un fichier (de nom DDDDTRAN, de type DATA), qui peut être lu alors par les sous-programmes de l'application "TRANSFO".

III - 1 - La récupération des informations

A la première séance de travail des étudiants, c'est-à-dire à la première initialisation de leur projet, les sous programmes de l'application "TRANSFO" :

- lisent et recopie dans la zone de mémoire affectée au projet les informations contenues dans le fichier DDDDTRAN ; en particulier, le sous-programme de gestion de mémoire du système ESPACE retrouve les informations nécessaires pour relire les blocs.

- réservent un bloc d'entiers, d'un nombre de cases égal au nombre de groupes de diapositives, (voir figure 19) et qui contiendra l'"histoire" des projections effectuées pour ce projet. Celle-ci est décrite par deux compteurs :

- le nombre de sollicitations non satisfaites depuis la dernière projection d'une diapositive du groupe ;

- le nombre de séances de travail des élèves depuis que toutes les photos d'un groupe ont été projetées ;

et un indicateur qui précise si toutes les photos d'un groupe ont été déjà projetées au moins deux fois (ce nombre deux est dû à la définition du critère NS).

Ces trois informations sont codées sur un seul entier, de la même manière que pour les critères.

III - 2 - L'utilisation des informations

Le processus est simple à comprendre maintenant : à chaque "sollicitation", le sous-programme PROJECT :

- met à jour l'entier où est codée "l'histoire" des projections pour le groupe considéré.

- compare les "critères" à "l'histoire" : si la projection est autorisée, elle est effectuée. Sinon, c'est terminé.

A N N E X E 4

L'ORGANISATION MATERIELLE DES PROJETS

I - LES MOYENS DONT NOUS DISPOSONS

Le système ESPACE fonctionne dans l'environnement des systèmes CP et CMS de l'ordinateur IBM 360/67 du Centre Interuniversitaire de Calcul de Grenoble. Les utilisateurs d'ESPACE travaillent sur des "machines virtuelles" de CP ; chaque machine virtuelle est repérée par un nom, et une zone lui est affectée sur un disque magnétique. C'est sur ces disques que sont conservés les fichiers contenant les données ou les programmes.

On peut distinguer deux niveaux dans les fonctions remplies par les fichiers nécessaires à la mise en oeuvre d'une application d'ESPACE :

- les programmes et les données propres au système et à l'application.

- pour chaque projet, un fichier de données où sont mémorisés les blocs de mémoire engendrés à la suite du travail des étudiants (voir page 66).

Pour faire travailler les groupes d'élèves, nous avons pu utiliser trois machines virtuelles que nous avons réparties de la façon suivante (voir figure 21) :

- une machine virtuelle contenant les programmes et les données propres du système ESPACE et aux applications, c'est-à-dire ce qui est commun à tous les projets.
- deux machines virtuelles "de travail", sur lesquelles les groupes d'élèves pouvaient travailler et conserver les fichiers propres à leurs projets.

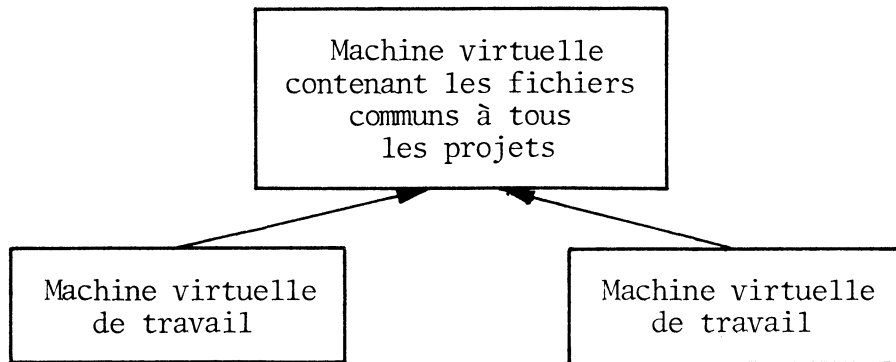


Figure 21: répartition des machines virtuelles pour le fonctionnement d'ESPACE

Les deux machines virtuelles de travail pouvaient accéder en même temps au disque de la troisième en lecture, pour y rechercher les informations qu'il contenait. Par conséquent, deux groupes d'élèves pouvaient utiliser simultanément le système ; la seule précaution à prendre était de vérifier que les fichiers de données relatifs à leurs projets respectifs n'étaient pas dans la même machine virtuelle.

II - L'ORGANISATION DE L'EMPLOI DU TEMPS DES ETUDIANTS

La possibilité qui nous était donnée de faire travailler deux groupes en même temps nous a permis de laisser toute liberté aux

étudiants quant à l'organisation de leur emploi du temps. Nous avons simplement mis au point un système de planning de façon à prévoir l'occupation des machines virtuelles et des terminaux (partagés entre les élèves et les chercheurs du laboratoire), et à répartir les fichiers des projets sur les différentes machines virtuelles. Les élèves ont pu ainsi s'habituer à utiliser des outils de travail suivant les disponibilités de ces derniers, et non suivant un emploi du temps qu'ils auraient pu trouver arbitraire et inadapté à leurs besoins.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] - Equipe E.C.A.O. de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Problem-solving : objectifs, activités, contraintes technologiques. Cours présenté à l'Ecole d'Eté du Département U.C.O.D.I. (O.C.D.E.) de l'Université Catholique de Louvain à Pugnochiuso (Bari - Italie). Août/Septembre 1973.
- [2] - M. GUSSOW - Home study continuing education in electronics engineering. I.E.E.E. Transactions on Education, May 1973, pp. 88-92.
- [3] - R. W. BURNS and G. D. BROOKS - The need for curriculum reform. The Educational Technology Reviews Series, Number two : The Process of Innovation in Education. 1973. pp. 12-16.
- [4] - S. J. DRUMHELLER - Developing individualized instructional programs. The Educational Technology Reviews Series, Number two : The Process of Innovation in Education, 1973, p. 105.
- [5] - J. BORNE, R. JACOUD, M. JACQUES, S. LEBLANC - A university and industry joint experimentation of technician retraining. European Conference of Electrotechnics, Eurocon' 74, Amsterdam (Pays-Bas). April 1974, pp. D 6-5 (1) - D 6-5 (2).
- [6] - R. E. CLARK - The best of ERIC : recent trends in computer assisted instruction. ERIC Report n° ED 076025, April 1973, 15 pages.
- [7] - F. N. BAILEY, R. Y. KAIN - Project ITCH : interactive digital simulation in electrical engineering education. ERIC report n° ED 082501, presented at the conference on computers in undergraduate curricula, 4th, Claremont (California, U.S.A.), June 1973, 13 pages.
- [8] - D. L. BITZER and D. SKAPERDAS - The design of an economically viable large-scale computer based education system. Computers in Instruction (R. E. Lieven editor), N° R-718-NSF/CCOM/RC, The Rand Corporation, Santa Monica, California (U.S.A.), July 1971, pp. 14-33.

- |9| - K. J. STETTEN - The technology of small, local facilities for instructional use. Computers in instruction (a. E. Lievin editor), n° R-718-NSF/CCOM/RC, The Rand Corporation, Santa Monica, (California, U.S.A.), July 1971, pp. 35-41.

- |10| - G. A. COMSTOCK - The computer and higher education in California. In R. E. LIEVIN : The emerging technology : instructional uses of the computer in higher education. Mac Graw Hill Book Company, New-York (U.S.A.), 1972, pp. 195-249.

- |11| - THE CARNEGIE COMMISSION ON HIGHER EDUCATION - The fourth revolution : instructional technology in higher education, Mac Graw Hill Book Company, New-York (U.S.A.), 1972, 101 pages.

- |12| - P. M. CAMPEAU - Selection Review of the results of research on the use of audiovisual media to teach adults, ERIC report n° ED 066923, presented at the council of Europe, Strasbourg, November 1971, 29 pages.

- |13| - SOCIAL SCIENCE EDUCATION CONSORTIUM - National Seminar on the diffusion of new instructional materials and practices. 3.0 Product Characteristics : What are the characteristics of Educational Products that make them more or less likely to be diffused ? ERIC Report n° ED 083114, June 1973, 59 pages.

- |14| - H. J. BURNS, editor, and others - The administration and management of small college computing centers. ERIC report n° ED 082509, Proceedings of a SIGUCC Symposium, Atlanta (Georgia, U.S.A.), June 1972, 77 pages.

- |15| - R. D. TSCHIRGI - The effects of computers on higher education. Computers in instruction (R.E. Lievin editor), n° R-718-NSF/CCOM/RC. The Rans Corporation, Santa Monica (California, U.S.A.), July 1971, pp. 124-132.

- |16| - D. A. TRIVETT - Goals for higher education : definitions and directions - ERIC Report n° ED 082698, 1973, 67 pages.

- |17| - J. C. LATOMBE - Etude d'un système pédagogique d'assistance à la conception en Electrotechnique. Thèse de Docteur-Ingénieur, U.S.M.G. de Grenoble, Novembre 1972, 158 pages.

- |18| - H. A. SIMON - La science des systèmes (Science de l'artificiel). Epi editeur, Paris, 1974, 154 pages.

authority figure. Technical report
nia, U.S.A.), 25 pages.

ee in computer aided engineering
e de cours du Kingston Polytechnic
74.

- A computer aided instruction
eering education. Conference on
electrical engineering", Prague
re 1975, 9 pages.

ational Polytechnique de Grenoble.
'application réseaux électriques
el d'utilisation de ESPACE CP/CMS,
es.

LATOMBE, and J. C. SABONNADIÈRE -
by interactive design of electrici-
I.E.E.E. Transactions on educa-
3.

RE - Bilan de quelques années
gique d'un système d'E.A.O. des-
ingénieurs. I.F.I.P., 2ème confé-
formatique et Enseignement,
5, 6 pages.

- POLICY : An interactive compu-
lizing, executing and refining
, 1973, 9 pages.

l iterative approach to computer-
Mimeo, 1974, 35 pages.

of Egon Brunswik. Henry Hold edi-
v-York, 1966, 549 pages.

correlations and extensions of the
neo, 1973, 30 pages.

help us think ? Paper presented
as (Austin, U.S.A.), 1973,

ons on education of creativity in
. Transactions on education, Novem-
2.

stract to the practical : teaching a
I.E.E.E. Transactions on Education,
-103.

open design projects in the education
3. Transactions on Education,

: A computer aided instruction sys-
educational problem solving activi-
rence on computer based learning
ugust 1974, 10 pages.

NADIÈRE - Elaboration d'un système
pour l'assistance à l'enseignement
Electrotechnique. Revue Française
matique et Recherche Opérationnelle,
4.

t National Polytechnique de Grenoble.
teur des langages de commandes.
de ESPACE/CP/CMS, Volume 3, 1973,

t National Polytechnique de Grenoble.
de l'application transformateur.
de ESPACE/CP/CMS, Volume 8, 1975.

JONES - L'art d'enseigner et l'art
ction aux méthodes et matériels nou-
enseignement supérieur. UNESCO, Paris,

ion à la recherche en education.
1972, 312 pages.

avail en groupe. Dunod, Paris, 1972,

DIÈRE - Une expérience d'intégration
la formation d'ingénieurs. Conference
ss of electrical engineering",
ie), Octobre 1975, 19 pages.

- | 30| - L. R. BROD - The computer as an authority figure. Technical report n° 29, Stanford (California, U.S.A.), 25 pages.
- | 31| - KINGSTON POLYTECHNIC - MSc degree in computer aided engineering systems design. Programme de cours du Kingston Polytechnic (Angleterre), Juillet 1974.
- | 32| - P. MASSE et J. C. SABONNADIÈRE - A computer aided instruction system for network engineering education. Conference on "The future progress of electrical engineering", Prague (Tchécoslovaquie), Octobre 1975, 9 pages.
- | 33| - EQUIPE E.C.A.O. de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. FORCE : Utilisation de l'application réseaux électriques (Régime permanent). Manuel d'utilisation de ESPACE CP/CMS, Volume 10, 1974, 103 pages.
- | 34| - A. BOLOPION, M. CAMPAS, J. C. LATOMBE, and J. C. SABONNADIÈRE - A new approach to C.A.I. by interactive design of electrical engineering systems. I.E.E.E. Transactions on education, May 1975, pp. 87-93.
- | 35| - A. BOLOPION et J. C. SABONNADIÈRE - Bilan de quelques années d'expérimentation pédagogique d'un système d'E.A.O. destiné à la formation des ingénieurs. I.F.I.P., 2ème conférence Internationale Informatique et Enseignement, Marseille, Septembre 1975, 6 pages.
- | 36| - T. R. STEWART and J. E. CARTER - POLICY : An interactive computer program for externalizing, executing and refining judgmental Policy, Mimeo, 1973, 9 pages.
- | 37| - R. L. COOK - An interactive and iterative approach to computer-aided Policy capturing. Mimeo, 1974, 35 pages.
- | 38| - K. R. HAMMOND - The psychology of Egon Brunswik. Henry Hold editions in psychology, New-York, 1966, 549 pages.
- | 39| - T. R. STEWART - Components of correlations and extensions of the lens model equation, Mimeo, 1973, 30 pages.
- | 40| - K. R. HAMMOND - Can technology help us think ? Paper presented at the University of Texas (Austin, U.S.A.), 1973, 15 pages.

- |41| - R. ZIMBELMAN and K. R. HAMMOND - Effects of the chronic use of "Street Drugs" on learning to improve judgment. Mimeo, 1973, 16 pages.

- |42| - K. R. HAMMOND - Computer graphics as an aid to learning. Science, Volume 172, May 1971, pp. 903-908.

- |43| - T. EARLE and M. J. MILLER - Interpersonal learning : application of the lens model in the case of one person learning from another. In L. Rapporto and D.A. Summers editors, Human judgment and Social interaction, New-York, 1973, 45 pages.

- |44| - K. R. HAMMOND, F. J. TODD, M. WILKINS and T. O. MITCHELL - Cognitive conflict between persons : application of the "Lens Model" paradigm. Journal of experimental social psychology, Vol. 2, n° 4, October 1966, pp. 333-360.

- |45| - EQUIPE E.C.A.O. de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. ELECTRO : utilisation de la banque de données de matériaux. Manuel d'utilisation d'ESPACE CP/CMS, Volume 11, en cours de parution (1975).

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le

Le Président de la thèse

VU, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Institut
National Polytechnique

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale