



HAL
open science

Contribution à l'étude et à la programmation des méthodes morphologiques de créativité

Paulo Oswaldo Boaventura Netto

► **To cite this version:**

Paulo Oswaldo Boaventura Netto. Contribution à l'étude et à la programmation des méthodes morphologiques de créativité. Modélisation et simulation. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1970. Français. NNT: . tel-00282266

HAL Id: tel-00282266

<https://theses.hal.science/tel-00282266>

Submitted on 27 May 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.

THESE
présentée à la Faculté des Sciences
de l'Université de Grenoble

pour obtenir
le grade de Docteur-Ingénieur

par
Paulo Oswaldo BOAVENTURA NETTO

"Contribution à l'étude et à la programmation
des méthodes morphologiques de créativité"

Thèse soutenue le 16 octobre 1970 devant la Commission d'Examen

Monsieur J. KUNTZMANN	Président
Messieurs A. KAUFMANN) Examineurs
N. GASTINEL	
G. ROMIER	
A. JONES	

FACULTE DES SCIENCES

DE GRENOBLE

LISTE DES PROFESSEURS

Doyen honoraire : Monsieur M. MORET

Doyen : Monsieur E. BONNIER

PROFESSEURS TITULAIRES

MM.	NEEL Louis	Physique expérimentale
	KRAVTCHENKO Julien	Mécanique Rationnelle
	CHABAUTY Claude	Calcul Différentiel et intégral
	BENOIT Jean	Radioélectricité
	CHENE Marcel	Chimie Papetière
	FELICI Noël	Electrostatique
	KUNTZMANN Jean	Mathématiques Appliquées
	BARBIER Reynold	Géologie Appliquée
	SANTON Lucien	Mécanique des fluides
	OZENDA Paul	Botanique
	FALLOT Maurice	Physique Industrielles
	KOSZUL Jean-Louis	Mathématiques
	GALVANI Octave	Mathématiques
	MOUSSA André	Chimie Nucléaire
	TRAYNARD Philippe	Chimie Générale
	SOUTIF Michel	Physique Générale
	CRAYA Antoine	Hydrodynamique
	REULOS René	Théorie des Champs
	BESSON Jean	Chimie Minérale
	AYANT Yves	Physique Approfondie
	GALLISSOT François	Mathématiques
Melle	LUTZ Elisabeth	Mathématiques
	BLAMBERT Maurice	Mathématiques
	BOUCHEZ Robert	Physique Nucléaire
	LLIBOUTRY Louis	Géophysique
	MICHEL Robert	Minéralogie et pétrographie
	BONNIER Etienne	Electrochimie et Electrometallurgie
	DESSAUX Georges	Physiologie Animale
	PILLET Emile	Physique Industrielle-Electrtechnique
	YOCOZ Jean	Physique Nucléaire théorique
	DEBELMAS Jacques	Géologie Générale
	GERBER Robert	Mathématiques
	PAUTHENET René	Electrotechnique
	MALGRANGE Bernard	Mathématiques Pures
	VAUQUOIS Bernard	Calcul Electronique
	BARJON Robert	Physique Nucléaire
	BARBIER Jean-Claude	Physique
	BLANCHARD	Mécanique des Fluides
	BUYLE-BODIN Maurice	Electronique
	DREYFUS Bernard	Thermodynamique
	KLEIN Joseph	Mathématiques
	VAILLANT François	Zoologie et Hydrobiologie
	ARNAUD Paul	Chimie
	SENGEL Philippe	Zoologie
	BARNOCQ Fernand	Biosynthèse de la cellulose

	BERNARDINEAU Pierre	Physique
	GAGNAIRE Didier	Chimie Physique
Mme	KOFLER Lucie	Botanique
	DEGRANGE Charles	Zoologie
	PEBAY-PEROULA Jean-Claude	Physique
	RASSAY André	Chimie Systématique
	DUCROS Pierre	Cristallographie Physique
	DODU Jacques	Mécanique Appliquée I. U. T.
	ANGLES D'AURIACE Paul	Mécanique des Fluides
	LACAZE Albert	Thermodynamique
	GASTINEAU Noël	Analyse Numérique
	GIRAUD Pierre	Géologie
	PERRET René	Servo-mécanismes
	PAYAN Jean-Jacques	Mathématiques Pures
	CAUQUIS Georges	Chimie
	RENARD Michel	Thermodynamique

PROFESSEURS SANS CHAIRE

	GIDON Paul	Géologie
	BARBIER Marie-Jeanne	Electrochimie
	SOUTIF Jeanne	Physique
	COHEN Joseph	Electrotechnique
	DEPASSEL R.	Mécanique des Fluides
	GLENAT René	Chimie
	BARRA Jean	Mathématiques Appliquées
	COUMES André	Electronique
	PERRIAUX Jacques	Géologie et Minéralogie
	ROBERT André	Chimie papetière
	BIARREZ Jean	Mécanique Physique
	BONNET Georges	Electronique
	BONNETAIN Lucien	Chimie minérale
	DEPOMMIER Pierre	Physique nucléaire - Génie atomique
	HACQUES Gérard	Calcul numérique
	POLOUJADOFF Michel	Electrotechnique
	KAHANE Josette	Physique
	BONNIER Jane	Chimie
	VALENTIN Jacques	Physique
	REBECQ Jacques	Biologie
	DEPORTES Charles	Chimie
	SARROT-REYMAULD Jean	Géologie
	BERTRANDIAS J. Paul	Mathématiques Appliquées
	AUBERT Guy	Physique
	DESRE Pierre	Chimie
	LAURENT Pierre	Mathématiques Appliquées
	CARLIER Georges	Biologie végétale
	DOLIQUE Jean-Michel	Electronique

PROFESSEURS ASSOCIES

	RODRIGUES Alexandre	Mathématiques Pures
	RADHAKRISHNA	Thermodynamique

MAITRES DE CONFERENCES

	LANCIA Roland	Physique atomique
	BOUCHE Liane	Mathématiques

KAHANE André	Physique générale
BRIERE Georges	Physique
LAJZEROWICZ Joseph	Physique
BERTRANDIAS Françoise	Mathématiques Pures
LONGEQUEUE J. Pierre	Physique
SOHM Jean-Claude	Electrochimie
ZADWORNY François	Electronique
DURAND Francis	Chimie Physique
PFISTER Jean-Claude	Physique
CHIBON Pierre	Biologie Animale
IDELMAN Simon	Physiologie Animale
BLOCH Daniel	Electrotechnique I.P
MARTIN-BOUYER Michel	Chimie (C.S.U. Chambéry)
SIBILLE Robert	Construction Mécanique (I.U.T.)
BRUGEL Lucien	Energétique I.U.T.
BOUVARD Maurice	Hydrologie
RICHARD Lucien	Botanique
PELMONT Jean	Physiologie Animale
BOUSSARD Jean-Claude	Mathématiques Appliquées (I.P.G.)
MOREAU René	Hydraulique (I.P.G.)
ARMAND Yves	Chimie I.U.T.
BOLLIET Louis	Informatique I.U.T.
KUHN Gérard	Energétique I.U.T.
PEFFEN René	Chimie-Physique I.U.T.
GERMAIN Jean-Pierre	Mécanique
JOLY Jean-René	Mécanique
Melle PIERY Yvette	Biologie Animale
BERNARD Alain	Mathématiques Pures
MOHSEN Tahsin	Biologie (C.S.U. Chambéry)
CONTE René	Mesures Physiques I.U.T.
LE JUNTER Noël	Génie électrique électronique I.U.T.
LE ROY Philippe	Génie Mécanique I.U.T.
ROMIER Guy	Techniques Statistiques quantitatives I.U.T.
VIALON Pierre	Géologie
BENZAKEN Claude	Mathématiques Appliquées
MAYNARD Roger	Physique
DUSSAUD René	Mathématiques (C.S.U. Chambéry)
BELORIZKY Elie	Physique (C.S.U. Chambéry)
Mme LAJZEROWICZ Jeannine	Physique (C.S.U. Chambéry)
JULLIEN Pierre	Mathématiques Pures
Mme RINAUDO Marguerite	Chimie
BLIMAN Samuel	E. I. E.
BEGUIN Claude	Chimie organique
NEGRE Robert	Mécanique I.U.T.
BUISSON Roger	Physique I.U.T.
IVANES Marcel	Electronique I.U.T.

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

YAMADA Osamu	Physique du Solide
NAGAO Makoto	Mathématiques Appliquées
MAREZIO Massimo	Physique du Solide
CHEEKE John	Thermodynamique
BOUDOURIS Georges	Radioélectricité
ROZMARIN Georges	Chimie Papetière

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à :

- M. Jean KUNTZMANN, qui a bien voulu me faire l'honneur de présider le jury,
 - M. Arnold KAUFMANN, qui m'a orienté pendant la réalisation de ce travail, et dont les conseils et l'aide amicale ont joué un rôle déterminant,
 - M. Noël GASTINEL, qui a bien voulu faire partie du jury,
 - M. Guy ROMIER, dont les conseils ont eu la plus grande importance pour l'étude probabiliste,
 - MM. André JONES, Alessandro MARTEGANI et Jean-Pierre DENIS, du Laboratoire de Physique Générale de L'Université de Louvain, et à toute l'équipe de ce Laboratoire, qui ont bien voulu me recevoir et m'apporter leur aide et leur amitié,
 - Mme Annick DREVET, MM. Michel FUSTIER et Bruno CAILLAT, du Centre d'Heuristique Appliquée de l'Association Lyonnaise d'Ingénieurs-Conseils, et à toute l'équipe de cette Association, par les connaissances théoriques et pratiques qu'ils m'ont permis d'acquérir, en ce qui concerne les méthodes de stimulation créatrice,
 - Mmes Janine LAISSUS et Marie-Françoise BRUANDET, qui ont eu l'obligeance de corriger la rédaction française ;
 - Mme Christiane NEUMANN, sans qui la réalisation matérielle de ce travail ne serait pas possible,
- le Conselho Nacional de Pesquisas du Brésil et la Coordenação de Programas Pós-graduados de Engenharia de L'Université Fédérale de Rio de Janeiro, par le soutien financier indispensable à mon séjour en France.

la Compagnie Bull-General Electric, par l'assistance concernant
l'utilisation du système Time-Sharing et par l'aide financière
pour les voyages à Louvain.

et à tous ceux qui m'ont aidé avec leur appui et leurs conseils.

Ce travail est dédié à ma femme

Célia

*dont le rôle d'épouse, amie et compagne de
tous les moments*

est à la base de sa réalisation.

TABLE DES MATIERES

	Pages
Avant-propos	1
1 - La recherche morphologique	8
2 - Le groupe de recherche	15
3 - La construction de la morphologie	22
4 - Méthodes de recherche morphologique	28
5 - Les méthodes adaptatives	51
6 - Etude probabiliste	62
7 - Conclusions	116
Ap. I - Notation	121
Ap. II - Présentation des programmes et instructions pour l'utilisation	125
Ap. III - Exemples d'application	169
Ap. IV - Programmes et exemples d'utilisation	194
Ap. V - Table de nombre aléatoires de modules 2 à 12	230
Bibliographie	233

AVANT-PROPOS

La notion de créativité nous apporte très habituellement des images de brillants chercheurs, inventeurs et scientifiques, qui "en un éclair de génie" ont fait des découvertes parfois fondamentales pour la science ou pour l'avenir de l'humanité. La plupart des oeuvres de grande diffusion, consacrées à la description des découvertes scientifiques, laisse dans l'esprit du lecteur l'impression que la pensée créatrice est la chasse gardée d'une poignée d'êtres privilégiés, dont les cerveaux exceptionnels travaillent d'une façon incompréhensible et inaccessible au commun des mortels. On y trouve bien sûr des divergences d'opinion sur la façon dont les savants arrivent aux découvertes ; pour certains, c'est l'"éclair", cet événement intangible qui remet à leur place toutes les informations et toutes les idées, en composant un cadre harmonieux ; pour d'autres, c'est une logique implacablement précise qui analyse le problème, point par point, sans rien laisser au hasard, jusqu'au moment où la découverte naît.

Tout contribue pour envelopper la question dans une atmosphère fluide et mystique, dans laquelle toute tentative d'éclaircissement doit certainement se heurter à une barrière infranchissable.

D'autre part, le processus créateur est souvent considéré comme quelque chose de désagréable, comme une sorte de tribut qu'on paie pour le résultat désiré : c'est "l'agonie de la création".

En effet, tout cela n'est que le réflexe d'une ignorance presque totale des mécanismes de fonctionnement du cerveau, dont les mystères n'ont été que très peu dévoilés jusqu'à présent, même après une soixantaine d'années d'efforts de psychanalystes, psychologues, neurologues et biologistes. Ce que l'on sait est encore très peu, mais suffit tout de même à apporter un peu de lumière à notre discussion.

Avant d'y arriver il convient de rappeler qu'il est très important, de nos jours, d'en savoir plus : si on pouvait améliorer le rendement du cerveau, on serait en mesure, au moins du point de vue technologique, d'atteindre au moins un milliard d'exemplaires de cette machine exceptionnelle ; même si on ne prend en compte les autres deux milliards, soit parce qu'ils appartiennent à des nourrissons, soit parce qu'ils sont irréversiblement endommagés par la sous-nutrition. On serait en mesure de perfectionner un milliard d'exemplaires de la seule machine où l'on trouve la capacité créative ; on serait peut-être en mesure de solutionner tous les problèmes de l'humanité.

La question à poser nous apparaît clairement ; serait-il possible de développer des qualités créatives chez tous les êtres humains ?

La biologie du cerveau nous apprend qu'il se divise en des zones d'activités bien définies et aussi que ces zones sont toujours les mêmes dans l'espèce humaine. Certainement ses dimensions relatives et ses capacités varient de personne à personne, mais la structure fondamentale est toujours la même. D'ailleurs on peut vérifier qu'une éducation ou un entraînement déterminés augmentent la capacité fonctionnelle de la zone concernée. Un pianiste aura un développement intensifié de la partie de la zone matrice qui commande les mouvements des mains, tandis qu'un polygotte l'aura sur la zone du langage.

Il s'agit certainement d'exemples très simples ; mais, en parlant de créativité, on peut se demander s'il existe une "zone de créativité". Nous ne pouvons pas répondre à cette question ; d'ailleurs on arrive de nos jours à penser que la capacité de raisonnement dépend du nombre de liaisons interneuronales, il en serait peut-être de même pour la capacité créative.

Nous pouvons toutefois aligner un certain nombre d'idées en quête d'une conclusion. Ainsi nous pouvons considérer que si tous les cerveaux humains sont structurés de la même façon, en termes macroscopiques ; si les

diverses zones d'activité cérébrale peuvent être développées par des influences externes ; et si, après une série de modifications qui relèvent de l'environnement social, certains individus arrivent à un développement cérébral qui les rend "possesseurs de capacité créatrice", alors il est permis de supposer que la créativité existe à un degré plus ou moins élevé, latente ou développée, chez tous les êtres humains.

Certes, il y a "l'équation personnelle", mais si on cherche à observer les gens "créateurs" on se rend compte que, ce qui varie le plus, ce sont les méthodes de travail et surtout l'aire de connaissance où le sujet présente son rendement maximum. On a toutefois établi une méthodologie assez générale, comme l'a montré DREVET (1). En ce qui concerne l'aire de connaissance on peut supposer une influence d'ordre génétique, au moins, d'après quelques exemples, dans le champ de la musique : la famille Bach en est le cas le plus frappant. On aurait alors des personnes en possession d'une "zone musicale" particulièrement bien développée ; mais il est difficile de savoir quel aurait pu être le poids de l'ambiance familiale favorable.

Le sujet nous amène naturellement au problème de l'éducation, qui devrait être capable de développer la créativité. Pour cela il faudrait qu'elle fût orientée en accord avec le fonctionnement du cerveau ; c'est à dire, capable d'apporter et la connaissance (mémoire) et une capacité accrue de traitement (capacité fonctionnelle). L'élimination des préjugés et des moules de pensée y jouerait un rôle très important ; en effet, la complexité des phénomènes du monde amène souvent l'individu à chercher un refuge dans ces formes pré-établies de conduite, qui produisent, dans la plupart des cas, des interprétations fausses de la réalité. L'usage de ces "démarches programmées" exige certes un minimum d'effort mental ; mais les raisons profondes des faits examinés sont en général laissés de côté. Tel est le cas de l'attitude manichéiste : telle chose est bonne ou mauvaise, correcte ou incorrecte, inoffensive ou dangereuse, il n'y a qu'à choisir entre deux options ; cette logique binaire a déjà amené à des actions parmi les plus nuisibles au bonheur et à la pleine réalisation de l'humanité.

Nous ne nous proposons pas de décrire une telle éducation, notre objectif est beaucoup plus modeste que cette étude d'un problème complexe qui exige des outils intellectuels et matériels considérables. Nous nous bornons à rappeler que, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, ces moyens existent : d'un côté la psychologie moderne, l'outil intellectuel fondamental, d'autre part les systèmes de télécommunications et les ordinateurs, comme instruments de transmission et traitement d'informations. Du point de vue matériel on pourrait d'ores et déjà envisager une utilisation intensive des média et des systèmes conversationnels de traitement pour la banalisation de certaines activités scolaires et une meilleure évaluation des résultats. Cette partie matérielle est déjà à ses débuts ; il ne manque qu'une stratégie globale et une pédagogie peut-être nouvelle.

Ce travail aurait une énorme importance, non seulement à cause des produits de la pensée créatrice, mais aussi, et surtout, par le développement intellectuel et par la satisfaction intérieure qu'éprouveraient les individus, avec l'usage de cette faculté exclusive et suprême de l'être humain.

Nous sommes encore loin d'un tel schéma ; les idées fondamentales ont pourtant été lancées ; et, dans le cadre général d'une éducation visant la créativité, cherchant à situer la modeste partie que nous désirons étudier, l'attention se fixe sur ce qui a déjà été fait ; c'est à dire, sur le champ de la stimulation créative en groupe, centrée sur l'étude des problèmes particuliers. C'est l'"inventique", pour utiliser le mot suggéré par KAUFMANN et FUSTIER (7) ; toute une méthodologie qui, tout en produisant des résultats immédiats extraordinaires, éclaircit la voie pour une nouvelle pédagogie.

Pour comprendre comment on obtient cette stimulation il convient d'examiner un peu plus en détails les formes d'activité mentale, en ce qui concerne le traitement d'informations.

Le cerveau peut travailler séquentiellement : c'est le cas du raisonnement logique, et aussi celui du langage que l'on entend (en ce qui concerne l'interprétation individuelle des mots). Les informations arrivent, soit de l'extérieur, soit de la mémoire consciente, et sont traitées l'une après l'autre, à la recherche d'un résultat ou d'une conclusion. Il s'agit d'un processus analytique dont la précision dépend de la façon de présenter les données ; cette précision sera accrue si elles arrivent au moment convenable et si la séquence d'informations a une vitesse compatible avec la capacité de traitement.

Il s'agit évidemment d'une vision simplifiée où on n'a pas pris en compte des caractéristiques du message comme le niveau de redondance (2) qui fait varier son intelligibilité. Ce qui est important c'est le fait que tous ces facteurs peuvent être convenablement ajustés, de façon telle qu'un résultat précis soit obtenu. C'est ce que l'on fait dans l'enseignement des disciplines scientifiques.

Mais le cerveau peut aussi fonctionner parallèlement, dans un mécanisme de perception, ou de traitement, qui peut être appelé parallèle, analogique ou global. Incomparablement plus rapide que le séquentiel, il a affaire à des blocs d'informations dans lesquels on ne peut, au moins de façon consciente, trouver aucun ordre ou séquence de traitement.

L'exemple le plus habituel est celui des impressions visuelles, qui correspondent peut-être à la plupart de l'activité parallèle du cerveau ; étant aussi la source d'informations la plus importante, on peut en conclure que la plupart des données apportées au raisonnement logique viennent d'impressions reçues parallèlement.

L'activité parallèle a pourtant d'autres applications, comme la coordination des données apportées par les organes sensoriels, dont un exemple frappant est la conduite d'une voiture, où la vue explore la piste et les environs, l'ouïe s'aperçoit du bruit du moteur et éventuellement de celui des autres voitures, aussi bien que de sa position approximative, tandis que le toucher informe sur la façon dont on tient le volant et que l'odorat peut percevoir des odeurs qui peuvent indiquer des difficultés avec le moteur. Tout cela se fait automatiquement à une

vitesse beaucoup plus grande que celle que l'on pourrait attendre, par exemple, d'un ordinateur qui pourrait être programmé pour conduire une voiture.

Une des possibilités les plus fascinantes de la prise en compte globale est celle de pouvoir être entraînée à l'examen d'informations ^{appartenant} à des schémas purement logiques, ou dans la complémentation de tels schémas quand sa capacité de jugement est insuffisante. Tel est le cas des langages, où elle vient dégager le sens sous-jacent d'une association de mots qui ne peut être parfois découvert logiquement ; c'est le cas des expressions idiomatiques.

Un exemple très instructif est celui de l'évaluation stratégique dans le jeu d'échecs, à propos duquel dit DREYFUS (3) : "It seems that "unconsciously" the subject is engaged in a sort of information processing which differs from counting out, and conscious counting begins when he has to refine this global process in order to deal with details. (...) In all game-playing programs, early success is attained by working on those games or parts of games in which counting out is feasible ; failure occurs when global awareness is necessary to avoid exponential growth".

Il y a deux conclusions à en tirer. D'abord, l'entraînement des facultés globales pour l'appréciation de données séquentielles doit être très rentable ; la lecture rapide en est un très bon exemple.

D'autre part, la perception globale est capable de mener à une décision sur un sujet dont le nombre de données s'accroît exponentiellement ; cette conclusion peut nous amener loin dans le champ des besoins mondiaux de traitement de données, car les indices principaux de ces besoins croissent exponentiellement, comme la population et le nombre de publications scientifiques périodiques (2). On voit immédiatement l'intérêt que présente la simulation d'un tel mécanisme, si elle est possible ; cela conduirait à la construction d'une "machine parallèle".

La psychanalyse a découvert que les souvenirs inconscients sont emmagasinés dans le cerveau sous forme de symboles ; la méthodologie de la stimulation créatrice en fait usage. Ce que l'on cherche à obtenir, c'est le "choc" d'un certain nombre de ces symboles - "choc" qui doit se produire parallèlement, puisque nous n'avons pas, sur la mémoire inconsciente, le contrôle nécessaire pour l'obtention d'une activité séquentielle ; d'autre part rien ne nous permet de dire que ces symboles peuvent être l'objet d'une telle activité.

Avec ces confrontations de symboles on aboutit parfois à quelque chose de nouveau, qui ne sera pas un symbole, mais une forme nouvelle d'association de symboles pré-existants. Cette forme d'association, que nous appelons "idée", ne sera donc pas en général sous forme symbolique, et, peut-être à cause de cela, sera envoyée à la mémoire consciente.

On évite ainsi les moules de pensée existant dans le conscient, ce qui est très important pour la libération de l'activité créatrice.

L'étude des phénomènes de groupe est venue apporter une contribution décisive à ces recherches. En effet on sait qu'une atmosphère convenablement établie dans un groupe - les caractéristiques principales étant la liberté d'opinion, l'égalité et le contrôle de la critique - peut être très favorable à la levée des blocages de raisonnement et de conduite.

On utilise donc le groupe comme unité de recherche dans diverses méthodes de stimulation créatrice ; particulièrement dans la méthode synécritique, fondée sur la libération délirante de l'inconscient, et la recherche morphologique, dont on établira plus loin les détails ; en effet, cela touche au problème spécifique de notre contribution, dont nous avons à délimiter le champ d'action, établir les démarches et vérifier les conséquences.

1 - LA RECHERCHE MORPHOLOGIQUE

C'est ZWICKY (4, 5, 6) en 1942, qui inventa cette technique d'énumération des façons de solutionner un problème donné. Le processus est fondé sur l'exploration d'un univers combinatoire engendré par une structure descriptive du sujet en étude. Cette idée est fort ancienne : on peut la trouver dans l'"Ars Magna" de RAMON LULL (13e siècle) ; LEIBNITZ aussi s'y est intéressé (7).

Nous allons la décrire en détail, tout en introduisant la terminologie adoptée actuellement. D'abord, on cherche à établir les caractéristiques principales du problème, c'est à dire, celles qui frappent le plus l'attention, ou qui ont la plus grande importance lors de la concrétisation du fait étudié. Pour chacune de ces caractéristiques ou formateurs on effectue une deuxième énumération dont le résultat est un ensemble de formes alternées de description ou concrétisation ; ces ensembles sont appelés ensembles formateurs ou formateurs tout court, et la structure par eux constituée (l'ensemble de tous les formateurs que l'on vient de construire) est une morphologie du sujet en étude.

L'ambiguïté du mot "formateurs" est voulue ; elle porte sur le fait que chaque élément d'un formateur (ensemble) peut particulariser le formateur (titre ou caractéristique) établi lors de la première énumération. Ces éléments sont de ce fait appelés homologues.

Si on prend alors un homologue de chaque formateur on aura une description sommaire d'une forme, a priori possible, d'existence du sujet ou problème. Cette réunion d'un nombre fini de concepts est un assemblage (8). ; dans l'étude de la recherche morphologique on représentera par r le nombre de formateurs et une telle description sera donc un r-assemblage.

On voit immédiatement que le nombre de r-assemblages que l'on peut obtenir d'une morphologie donnée est égal au produit des nombres d'homologues de chaque formateur entre eux (soit le produit des cardinaux des ensembles formateurs). Il est clair aussi que les r-assemblages sont les éléments de l'ensemble obtenu en effectuant le produit direct des ensembles formateurs ; cet ensemble ainsi défini est l'ensemble produit morphologique.

Soit par exemple l'étude d'un ballon jouet pour enfants ; une description assez sommaire nous donnera trois formateurs :

matériel - présentation - grandeur.

Une énumération aussi sommaire des alternatives produira les ensembles formateurs suivants :

Matériel = {plastique, caoutchouc}

Présentation = {dessiné, sans dessin}

Grandeur = {grand diamètre, petit diamètre}.

Un 3-assemblage comme (caoutchouc, sans dessin, petit diamètre) définit parfaitement, au niveau de détail que l'on a voulu utiliser, un ballon jouet. Il y a alors huit descriptions possibles d'après la morphologie, soit le produit des cardinaux (2, 2 et 2) des trois formateurs.

C'est donc une idée très simple et on peut même s'étonner, tout d'abord qu'elle puisse réussir comme facteur de stimulation créatrice, et aussi qu'elle n'ait pas été développée plus tôt ; ce n'est que sept cents ans après Ramon Lull que Zwicky l'a appliquée, et il a encore fallu attendre plus d'un quart de siècle pour assister à son développement.

Il a fallu pourtant qu'une compréhension suffisante se développât en ce qui concerne les démarches mentales à adopter, pour profiter des résultats. Nous le vérifierons par l'examen des points de vue de Zwicky, puis par les concepts plus modernes liés au groupe d'inventique.

Zwicky envisageait la recherche morphologique d'une façon individualiste ; le chercheur ("le morphologiste") est décrit par lui comme un individu doué d'une curiosité pénétrante, d'une culture plutôt universelle que spécialisée et possédant assez de courage pour affronter les habitudes et les préjugés (4).

D'autre part, il n'a songé qu'à l'exploration systématique et intensive de l'ensemble produit, dans le but d'évaluer toutes les "solutions"

engendrées par la morphologie. Nous avons utilisé les guillemets pour mettre en évidence un concept très important pour l'efficacité de la recherche, soit : tous les r-assemblages doivent être envisagés comme étant des solutions réalisables, jusqu'au moment où un examen plus approfondi montre le contraire ; on ne doit jamais les abandonner a priori.

Cette investigation profonde nécessaire dans la recherche morphologique est bien présente dans l'esprit de Zwicky, comme on peut voir dans les trois questions qui définissent, pour lui, les objectifs de la technique (4, 9) :

"- quelle quantité d'informations peut-on obtenir sur un certain ensemble limité de phénomènes, à l'aide d'une classe donnée de dispositifs ? En d'autres termes, quels sont les dispositifs nécessaires pour obtenir toutes les informations relatives à un ensemble donné de phénomènes ?

- quelle est la succession de tous les effets résultant d'une certaine cause ?

- déduire la totalité des dispositifs appartenant à une classe donnée, toutes les méthodes appartenant à une classe donnée, ou, en général, toutes les solutions d'un problème donné".

On n'a pas donné à la recherche morphologique, au moins au début, la place qu'elle méritait ; d'abord, il est très difficile pour un individu seul, de bâtir une morphologie sur un sujet complexe ; si on le connaît assez bien, il est facile de devenir prisonnier des idées déjà établies, dans le cas contraire on peut oublier des données importantes. Le travail en groupe vient éliminer cette difficulté, seulement surmontable par des personnes ayant à la fois des capacités généralisées et spécialisées, comme le scientifique multivalent qu'est Zwicky lui-même.

D'autre part, l'exploration totale d'une morphologie n'est pas possible dans la plupart des cas, étant donné que l'ensemble produit croît très rapidement avec le nombre de formateurs et avec ses cardinaux. Zwicky a évité cette difficulté en éliminant des "contradictions internes", ce qui existe presque toujours, les homologues des divers formateurs n'étant pas

entièrement indépendants. On ne peut pas s'attendre, pourtant, à une réduction assez importante du nombre de solutions ; il faudrait alors limiter le champ de recherche, comme il a fait avec sa morphologie des "engins de propulsion à réaction" ; elle contenait au départ à peu près trente-sept mille solutions, réduites à vingt cinq mille après l'élimination des restrictions ; mais son examen détaillé a été fait sur une morphologie simplifiée qui produisait un peu moins de six cents assemblages. (Il faut quand même remarquer que parmi ces assemblages se trouvaient les deux armes allemandes, secrètes à l'époque, qui étaient le V-1 et le V-2).

Cet examen simplifié n'est pas toujours possible, il est fréquent de trouver des sujets qui exigent sept, huit ou dix formateurs, chacun contenant une demi-douzaine d'homologues ; alors l'ensemble produit peut avoir tellement d'éléments que toute restriction ou exploration intensive devient pratiquement impossible. On fera appel dans ces cas aux méthodes d'exploration décrites plus loin ; leur avènement a été un des atouts les plus importants pour la vulgarisation de la recherche morphologique.

L'ordinateur y prend fréquemment une part très importante ; à l'époque de l'invention de la technique il n'était guère plus qu'une curiosité de laboratoire, donc il ne faut pas s'étonner que Zwicky n'ait pas songé à son application ; encore il a fallu avoir des machines assez rapides pour effectuer cette exploration en temps utile.

Il y a eu encore d'autres raisons, comme celles citées par JANTSCH (9) "Il semble que la "campagne" menée obstinément par Zwicky en faveur de sa méthode, ainsi que son caractère plutôt difficile, aient un peu obscurci son message". Et aussi des raisons moins éthiques concernant l'utilisation : "Un certain nombre d'entreprises utilisent évidemment cette méthode afin de "bloquer" des inventions futures possibles (ou d'essayer d'en partager les profits) en tentant de breveter, de manière assez abstraite, des combinaisons de paramètres fondamentaux".

Enfin, il s'agit d'un outil pour des recherches de pointe ; il est donc fréquent que des utilisateurs maintiennent secrets les résultats et même le fait que la technique a été utilisée. On sait, par exemple, que l'invention du "véhicule à pattes" de General Electric a été faite pendant l'étude d'une morphologie ; il y aura certainement d'autres cas, ceux-là inconnus, de son application.

Il est intéressant de remarquer que la prise en compte globale joue un rôle déterminant dans l'étude de la morphologie. Après la phase initiale, analytique, qui consiste essentiellement à décomposer le sujet de recherche dans ses composantes principales, on va le reconstruire à partir de ces pièces détachées ; de ce point de vue la recherche morphologique est une sorte de "cubisme mental". On va offrir aux facultés globales des "paysages" divers du sujet ; ces "paysages" seront examinés globalement et, de ce fait, beaucoup de détails qui passeraient inaperçus à la prise en compte logique seront dégagés, soit dans le conscient, soit dans l'inconscient. D'après KAUFMANN (7) il s'agit du phénomène dual de la reconnaissance de formes : celle-là part des objets pour arriver aux composantes - soit de l'inconnu vers le connu ; dans la recherche morphologique on prend des composantes - connues - pour arriver à l'inconnu - des objets (de la pensée). Tous les deux, bien sûr, appartiennent au domaine de la perception globale, ces analyses et ces synthèses n'étant pas des démarches logiques.

Pendant l'exploration on trouve souvent des r-assemblages qui présentent un intérêt particulier ; cela peut être dû à deux raisons :

- ou bien ils contiennent des homologues originaux : c'est à dire que cet intérêt dépend directement de la construction de la morphologie, de son degré d'originalité plus ou moins grand ;
- ou bien il y a des combinaisons partielles d'homologues qui présentent un intérêt spécial, distinct et plus grand que celui que peuvent susciter ces homologues examinés séparément : ce phénomène ne dépend pas directement de la construction de la morphologie, et ces combinaisons

jouent un rôle très important dans l'exploration, puisqu'il est beaucoup plus facile d'identifier comme originale ou intéressante une combinaison ou sous-assemblage contenant moins d'éléments que le r-assemblage complet. En réalité, ce sont les sous-assemblages de deux ou trois éléments (quatre dans des cas moins fréquents) qui permettent de dégager la plupart des propriétés ou caractéristiques nouvelles du sujet. Cela ne doit pas étonner ; la prise en compte logique joue également son rôle dans le travail, et, de ce fait la présence des objets de la pensée nettement plus simples, que sont les sous-assemblages, rend l'examen beaucoup plus facile. Par contre, il est difficile de le faire directement en travaillant sur la morphologie (c'est à dire, sans examiner l'ensemble produit), étant donné que le nombre de sous-assemblages est en général trop grand ; néanmoins, il y a des méthodes qui permettent de bâtir progressivement des solutions en prenant un sous-assemblage comme point de départ.

L'intérêt apporté par un sous-assemblage peut être soit positif, soit négatif ; on va y trouver l'origine des contradictions internes dont parlait Zwicky. De telles contradictions peuvent être de description (par exemple si le sujet recherché est un véhicule admis comme n'ayant pas de cabine, cet homologue - "sans cabine" - sera en contradiction avec tous les homologues d'un formateur décrivant le matériel de la cabine). Dans ces cas il n'y a pas de doutes. Mais la contradiction peut être fondée sur un problème d'ordre technologique et il convient alors d'être très méfiant au moment de considérer son élimination. Des éléments à première vue contradictoires peuvent cacher des idées nouvelles, surtout quand on se rappelle que les r-assemblages servent essentiellement à stimuler l'imagination et non pas à apporter des descriptions précises du sujet étudié.

Avant de passer à la description des problèmes et phénomènes du groupe de recherche, il convient de dire un mot sur l'applicabilité de la technique. On remarque que les objets de la pensée, qui sont les solutions, sont construits d'éléments détachés et choisis pendant un examen d'un sujet de recherche ; donc il est aisé de conclure qu'il faut avoir un sujet bien

défini comme point de départ (comme un véhicule ou une paire de lunette). Or, il n'en est rien, le sujet peut être beaucoup plus abstrait, allant même jusqu'aux cas où on ne sait pas ce que l'on cherche. On dira alors qu'il s'agit d'une recherche non normative ; Zwicky nous en donne un exemple avec l'étude qu'il a faite, à titre particulier, des techniques de l'alpinisme, dont il était pratiquant. Par contre son étude des engins de propulsion à réaction avait un sujet beaucoup mieux défini ; c'est là une recherche normative.

Il y a encore une possibilité très intéressante dans les recherches non-normatives : KAUFMANN et JONES ont envisagé de classer des formateurs plus fréquemment utilisés, comme par exemple des possibilités de formes, couleurs, matériels, etc ; la réunion d'un certain nombre de tels formateurs dans une morphologie - c'est à dire, une morphologie sans sujet préalable - pourrait conduire, dans un cadre absolument non normatif, à des conclusions de plus en plus intéressantes, au fur et à mesure qu'une telle "bibliothèque de formateurs" s'enrichit.

2 - LE GROUPE DE RECHERCHE

Nous avons montré que l'exécution d'une étude morphologique par un individu seul apporte de très sérieuses difficultés et admet des risques sur le plan de l'efficacité. La tendance actuelle est donc celle du travail en groupe.

Ce groupe est un groupe d'inventive ; sa constitution présente des similitudes avec celle des groupes de synéctique, sauf en ce qui concerne les apports de la technique d'exploration, très nettement différente. Avant d'entrer dans la discussion des phénomènes et problèmes du groupe morphologique nous allons encore parler des avantages que présente la recherche inventive en groupe.

- La confrontation des spécialités est un atout très important ; le choc des points de vue, des langages et des modèles des diverses spécialités s'est montré très productif en ce qui concerne la créativité. Il convient donc que le groupe soit diversifié par rapport aux spécialités : les contradictions et les comparaisons des points de vue bâtis d'après des formations diverses permettent d'explorer les aires qui les séparent et qui ne sont pas en général bien connues, soit d'un côté, soit de l'autre. On arrive de ce fait à une véritable synergie des capacités créatrices.

La formation des membres du groupe est très variable, étant liée en partie aux sujets que l'on étudie, mais sans s'y attacher strictement ; on y trouve une ressemblance avec la constitution des groupes de synéctique (10). Il convient, par exemple, d'avoir des membres "naïfs" dans le sujet de recherche, mais ayant une autre spécialité ; nous en parlerons plus tard.

- La partition du phénomène créateur : c'est là un processus habituel chez les groupes bien entraînés et qui est extrêmement souhaitable car il tend à augmenter de beaucoup l'efficacité du groupe : ses

membres ne se soucient pas d'émettre des idées cohérentes ou complètement élaborées, s'en tenant plutôt à contribuer avec des éléments de raisonnement, plus stimulants dans le sens auquel ils amènent le groupe à y ajouter des pièces semblables, jusqu'au moment où une nouvelle idée naît de ce travail collectif. La découverte appartient donc au groupe et non pas à ses membres pris individuellement. Pour citer GORDON :

"... La courbure sans défaut d'une idée qui a fait un retour sur elle-même "en circuit fermé" évoque en effet irrésistiblement une surface polie, impénétrable. Ainsi parachevée, l'idée que l'on exprime apparaît soit acceptable comme vraie, soit inacceptable comme fausse. Elle ne se prête pas aux retouches. Elle vit, ou périt, sitôt exprimée. Nul autre ne peut s'y frayer un passage ou continuer à l'exploiter. Ce n'est qu'une vaine plume au chapeau de celui qui l'a conçue".

D'autre part, l'émulation apportée par le rassemblement d'"idées-pièces" est non seulement très stimulante, mais sert aussi à consolider le groupe comme unité de recherche, dans laquelle l'équilibre des personnalités est atteint et utilisé au profit de la créativité.

- L'acceptation de risques psychologiques : le groupe "donne de l'audace aux individus" (GORDON). Cette acceptation de risques est un instrument précieux pour vaincre des contraintes ; GORDON cite l'exemple de "négation de la loi de la gravité" comme une déclaration en sens figuré capable de susciter des nouvelles façons pour aborder un problème. Le membre d'un groupe, qui prend une telle attitude se sent comme un "volontaire pour une mission dangereuse" et dans un groupe entraîné, il sera plutôt admiré que rejeté.

- Le jeu intellectuel : dans un groupe, l'étude d'un problème tombe facilement dans une atmosphère de jeu qui contribue à lever des blocages chez les participants. Cette atmosphère a un autre avantage concernant la résistance du groupe à la fatigue mentale qui arrive beaucoup plus vite lorsqu'on est isolé : le groupe envisage le jeu comme une diversion qui masque l'intense effort intellectuel fait.

Constitution du groupe

Nous allons adopter une certaine façon d'indiquer les particularités des membres ; nous les désignerons par des noms, qui ne doivent pourtant pas être pris dans leur sens habituel, mais plutôt en accord avec les explications données sur le rôle joué par la personne qu'ils désignent.

Un groupe de recherche morphologique doit être constitué de six à dix personnes ; avec moins de six il est difficile à réunir les fonctions nécessaires au travail, avec plus de dix on perdra trop de temps à discuter un point quelconque et cela risquera d'ennuyer les membres, surtout ceux qui, à un moment donné, voient leur participation diminuée par un motif quelconque.

On peut décrire le rôle joué par les membres en disant qu'il doit y avoir :

- un "méthodologiste", qui doit être chargé de l'implantation des méthodes de recherche dans le groupe ; son rôle sera très important au début du travail, pendant la construction de la morphologie, et aussi longtemps que le groupe ne sera pas parfaitement entraîné dans l'usage des méthodes. Quand le groupe atteint cette phase on peut, s'il convient de le faire, s'en passer. C'est le cas habituel, si le méthodologiste est un professionnel-conseil qui vient démarrer la technique dans une entreprise.

Le méthodologiste ne doit avoir la conduite du groupe que pendant la phase initiale d'entraînement ; même alors il doit devenir clair que cette conduite ne concerne que la méthodologie, étant donné que le groupe parfaitement entraîné doit se conduire lui-même.

Il appartiendra évidemment au méthodologiste de choisir la méthode d'exploration la plus convenable d'après les caractéristiques de la morphologie et le type d'étude que l'on veut faire (plus ou moins exhaustive, plus ou moins normative, plus ou moins détaillée).

- un "psychologue", dénomination qui ne reçoit des guillemets que parce qu'on peut avoir dans le groupe une personne capable de jouer ce rôle sans être un professionnel ; son travail est vraiment celui d'un psychologue, c'est à dire d'observer les phénomènes qui apportent la dynamique du groupe et d'intervenir de façon à corriger les déviations qui peuvent être nuisibles au déroulement du travail. Les blocages, d'un côté, et les projections excessives des personnalités, de l'autre, sont parmi les problèmes les plus courants.

Le psychologue doit être capable de comprendre les problèmes étudiés, assez bien pour qu'il puisse, en tant que membre du groupe, équilibrer une éventuelle perte d'originalité ; c'est à dire qu'il doit avoir une bonne culture générale et une capacité d'apprendre non moins importante. Il est le membre le plus indiqué pour apporter, à un moment donné, une suggestion relevant d'un "risque psychologique" et, de ce fait, ranimer une discussion qui serait tombée dans un éventuel marasme.

- un ou deux "experts" : des personnes ayant une connaissance approfondie sur les sujets de la recherche. Dans une entreprise ils appartiendront, par exemple, au département de recherche de techniques ou produits nouveaux, et doivent être des fonctionnaires de degré assez élevé pour que leur influence dans le développement des solutions trouvées par le groupe soit assez importante ; par contre, ils ne doivent pas être de degré beaucoup plus élevé que celui des autres membres, ce qui, d'ailleurs, est valable pour tous les membres du groupe pour des raisons évidentes.

Les experts doivent être capables d'émettre des opinions et de faire des suggestions dans le langage du groupe, de façon à pouvoir être compris par tous ; ils doivent éviter soigneusement l'usage d'expressions trop particulières à leur spécialité, cela étant une cause certaine de malaise.

Ce sont en général les membres dont l'adaptation est la plus délicate : leurs connaissances leur donnent une ascendance psychologique

sur les autres, et eux-mêmes peuvent se trouver sous tension s'ils sont, comme cela peut arriver, les responsables directs du programme de recherche.

Ils doivent avoir une compréhension très nette des buts poursuivis et des démarches entreprises pendant l'application des méthodes ; faute de cela ils peuvent avoir l'impression de participer à l'application de "ressources déloyales" conçues par des naïfs pour envahir le champ de leur spécialité. Ils doivent sentir, depuis les débuts - et le psychologue doit veiller à qui cela arrive - que les méthodes ne sont que des outils destinés à stimuler l'imagination, et que cette imagination leur appartient - à eux et à tous les participants du travail.

Le plus difficile est, croyons-nous, de convaincre un expert de l'efficacité de la recherche morphologique ; cela arrive dans beaucoup de cas avec les premiers résultats de la recherche, et à ce moment-là, il comprend, en général, le rôle déterminant qu'il y joue.

- un ou deux "utilisateurs", si c'est le cas, donc si le sujet est un produit qui doit être utilisé par quelqu'un d'autre que celui qui en fait le projet. Leur formation peut être très variée, allant des ménagères aux ingénieurs chargés du maintien d'installations. Quoi qu'il en soit il doit s'agir de personnes de même niveau intellectuel - mais non obligatoirement de même niveau hiérarchique - que celui des autres membres ; ce qu'il faut c'est qu'elles puissent être capables de s'intégrer dans le groupe aussi bien que les autres.

- un à trois "naïfs" : personnes qui le soient dans le champ de la recherche ; mais l'idéal est qu'ils soient des spécialistes d'autres spécialités ou des personnes ayant une formation plus générale. En général, il doit s'agir de personnes ayant une très grande curiosité intellectuelle et non dépourvues d'un certain sens d'humour (ce qui est aussi souhaitable pour tout le groupe, la découverte se faisant plus facilement dans une ambiance de joie), qualités très importantes chez eux parce qu'elles

tendent à équilibrer leur "naïveté" sur le sujet étudié, en enrichissant son rôle d'éléments dépourvus de contraintes de connaissance.

Il peut être intéressant qu'un de ces "naïfs" soit capable par sa personnalité, de jouer le rôle de déviant ; cela peut enrichir les démarches de découverte, mais il faut veiller à ce que les interventions déviantes ne soient pas trop fréquentes.

- un "opérateur", cela si on utilise un terminal d'ordinateur dans la recherche. Il doit manipuler les programmes de sortie des solutions ; il peut appartenir au groupe ou non ; dans ce dernier cas son travail serait celui d'un secrétaire, sans intervenir dans la discussion ; tout dépend de son niveau, et intellectuel et hiérarchique, à l'égard de celui du groupe.

Toutes les personnes appartenant à un groupe de recherche morphologique agissent, en certains moments comme des membres du groupe, égaux à tous les autres, et en d'autres occasions, suivant leurs compétences particulières ; mais, bien entendu, rien ne doit changer dans leur comportement, ou leur façon de s'exprimer.

La finalité du groupe est de produire des idées, et non des produits : cela doit être bien présent à l'esprit des participants et aussi chez les responsables du travail de recherche en général. Le groupe d'invention, quelle que soit la méthodologie utilisée, est un organisme destiné à la concrétisation de la phase intuitive de la découverte, celle qui d'ordinaire échappe aux techniciens, par les blocages qui leur apporte leur spécialisation plus poussée.

Il est intéressant de remarquer que, s'il est vrai que pour découvrir il faut connaître le problème, il est également vrai qu'il ne faut pas le connaître trop bien ; des travaux de KAUFMANN en cours de préparation cherchent à décrire ce phénomène d'après l'entropie ; la théorie de l'information nous apprend la relation entre l'information

et la négentropie. Un système d'entropie nulle serait complètement figé et de son déterminisme on ne pourrait rien sortir de nouveau ; si l'entropie s'accroissait on arriverait à un point correspondant au maximum d'informations admissibles pour qu'on puisse encore trouver des nouveautés ; ce serait le début, selon son expression, de la "plage d'entropie de la découverte". Si l'entropie s'accroissait encore on finirait pour arriver au seuil minimal d'informations nécessaires ; au-delà, le système serait par trop chaotique et on n'y pourrait rien trouver.

C'est donc une association convenable de connaissance et de naïveté qui doit être adoptée par le groupe pour le travail de recherche morphologique? On peut la doser convenablement - et cela est aussi une affaire du psychologue, pendant la sélection des membres - par la variété des personnalités et des spécialisations. Ainsi il convient parfois d'avoir un artiste dans la discussion d'un problème technologique ou scientifique, un informaticien pour étudier des formes d'architecture ou un économiste pour l'étude des stratégies de guerre sous-marine.

Enfin, il convient de remarquer que l'étude d'un problème doit être l'objet d'un effort aussi continu que possible. S'il faut plusieurs séances pour obtenir des résultats satisfaisants, elles doivent, idéalement, être faites dans des jours consécutifs. Il n'est pas convenable de laisser tomber le problème et le reprendre quelques jours après, cela ayant pour conséquence l'affaiblissement de l'atmosphère créatrice déjà centrée sur la morphologie. La même raison nous donne la durée idéale d'une séance, soit une journée entière de travail avec bien sûr les pauses pour les repas, détente et recherche d'informations additionnelles si besoin est. Il peut être commode de faire une pause plus longue après la construction de la morphologie, non seulement à cause de l'effort dépensé dans ce travail mais aussi parce qu'il diffère sensiblement de celui de l'examen des solutions. Si on utilise une console d'ordinateur, l'opérateur pourra profiter de cette pause pour y introduire la morphologie et tous les paramètres concernés.

3 - LA CONSTRUCTION DE LA MORPHOLOGIE

Une morphologie porte, pour ainsi dire, la marque du groupe qui l'a bâtie ; deux morphologies du même sujet, construites avec la même finalité, peuvent être très différentes selon la formation et la personnalité des groupes qui les ont préparées.

Evidemment les caractéristiques les plus frappantes du problème seront plus facilement trouvées et pourront de ce fait être égales ; mais les suggestions plus inhabituelles pourront être très différentes ; si le problème est difficile il peut même justifier la réunion de deux groupes assez différents qui doivent être alors complètement séparés. La confrontation des opinions pourra être très rentable et apporter de nouveaux renseignements sur le sujet.

D'autre part, Zwicky s'est appuyé sur l'idée de la totalité, ce que l'on peut déjà observer en regardant ses trois questions fondamentales, exprimées plus haut. Il affirmait que "la pensée morphologique est la première des pensées totales" et que cette conviction devait être inhérente à quiconque voulait l'appliquer.

Il va de soi qu'il s'agit d'un but plutôt idéal que réel ; sinon on n'aurait guère de différences entre deux morphologies du même sujet, puisque toutes les alternatives y seraient présentes. Cette idée est pourtant fondamentale : elle définit l'état d'esprit dans lequel on doit travailler, c'est à dire qu'on doit s'efforcer d'aligner toutes les alternatives possibles pour chaque formateur, de la plus habituelle à la plus fantaisiste. Zwicky nous en donne un exemple avec sa morphologie des engins jet-propulsés, où on trouve dans le formateur "comburant" l'homologue "terre", par analogie avec l'air, comburant habituel des engins voyageant dans l'atmosphère. La terre servirait alors à un engin capable de se frayer un chemin dans le sous-sol (ce qui est, d'ailleurs, même aujourd'hui, une idée très originale).

Il s'agissait là bien sûr d'une liste préliminaire, destinée à permettre une vision générale d'un problème assez complexe. Ce qu'il importe de retenir, ce sont les démarches qu'a suivies Zwicky lors de la construction de la morphologie. Tout d'abord il a fait des listes d'alternatives en essayant d'y mettre toutes les possibilités logiques (il n'a rien d'illogique dans l'idée d'utiliser comme carburant pour un véhicule, le matériel qui compose le milieu où il se déplace pourvu que ce matériel existe). Après il les a simplifiées, gardant seulement les possibilités exécutables d'après la technologie disponible, les autres constituant une réserve pour le futur.

Encore faut-il observer que l'influence de ce qu'on connaît est très forte : Zwicky avait restreint sa recherche aux engins propulsés par l'énergie chimique, sans spécifier le carburant ; mais il a toujours envisagé des systèmes carburant-comburant, quoiqu'il existât déjà des produits décomposables en présence d'un catalyseur et fournissant, de cette façon, de l'énergie sans être "brûlés" ; ou alors il pourrait avoir pensé/à la nitroglycérine, convenablement modérée.

L'originalité, et donc l'ambiance du groupe, sont très importantes dans cette phase initiale, où on doit chercher à se libérer de toutes les contraintes psychologiques : on voit par exemple la suggestion d'utiliser de la matière vivante dans la construction d'un clapet anti-retour (retenue dans la morphologie, puisqu'il s'agit, en principe, d'une idée exécutable) (7). Nous présentons aussi un exemple développé, de la morphologie d'un véhicule urbain individuel, où on trouve dans le formateur "suspension" l'homologue "magnétique"-retenu, car il pouvait exister une possibilité technologique, d'après des expériences de laboratoire sur des petits objets ; mais on a éliminé, dans le même formateur, l'homologue "par antigravité" - évidemment irréalisable, au moins avec la technologie disponible. Ce qui importe d'ailleurs, c'est le fait qu'un participant ait osé faire une telle suggestion, qui comporte un risque psychologique non négligeable.

Cette révision de la morphologie doit être faite avec beaucoup de prudence, sinon on risque d'éliminer des éléments très suggestifs. Elle correspond aussi à un deuxième principe de la recherche morphologique : rien ne doit être éliminé a priori, tout doit être très soigneusement examiné.

Il faut établir des critères précis, qui relèvent du problème étudié comme celui de la possibilité d'exécution avec les moyens technologiques ou scientifiques disponibles (non par l'intéressé, mais en général). On peut aussi envisager l'élimination d'un homologue qui peut être facilement déduit d'un autre, ou grouper sous un même titre des homologues proches l'un de l'autre, tout en réservant la liste originale comme auxiliaire ou source d'un enrichissement futur de la morphologie.

Parfois il convient d'introduire ou d'éliminer des formateurs, ce qui ne pose pas de difficultés puisqu'il s'agit des démarches faites à la suite d'un nouvel apport d'information ; c'est à dire que le groupe connaît davantage le sujet et peut alors chercher une meilleure description.

La morphologie peut être partielle ; si l'étude s'avère trop complexe on peut fixer un certain nombre de variables les plus conventionnelles et étudier le sous-ensemble de solutions ainsi délimité. Ou bien on étudiera le sujet à divers niveaux de description, du plus général au plus particularisé et on les étudiera séquentiellement, tout en profitant des solutions des premiers pour introduire des informations nouvelles dans les derniers.

On peut s'intéresser à obtenir des sous-assemblages parmi les solutions tirées et ensuite les compléter comme on veut. Dans la plupart des cas, cela ne sera intéressant que si on sort des (r-1) ou (r-2)-sous-assemblages ; avec trois ou plus composantes manquantes il deviendra

trop difficile de les examiner à cause du nombre élevé de combinaisons que l'on peut faire.

Pour rendre possible le tirage de sous-assemblages il suffit d'introduire un homologue "vide" dans les formateurs que l'on peut éventuellement exclure ; cet homologue peut recevoir un nom dépourvu de sens dans le contexte de la morphologie (comme "alpha", "béta", etc) ou si on travaille sur ordinateur il pourra être une chaîne de caractères vide ou remplie d'étoiles (* * * *).

La position de ces homologues dans le formateur est quelconque ; il est pourtant plus commode de les introduire soit au début, soit à la fin du formateur.

4 - METHODES DE RECHERCHE MORPHOLOGIQUE

La variété des problèmes qui peuvent être étudiés, et aussi les différentes possibilités de réaction des groupes à l'application d'une méthode ont montré qu'il était important d'avoir plusieurs stratégies d'exploration de l'ensemble produit, de façon à surmonter n'importe quelle difficulté qui pourrait apparaître, soit d'ordre matériel, soit d'ordre psychologique.

Les méthodes décrites jusqu'à présent se caractérisent donc par l'application de stratégies de base, d'où les solutions sont obtenues. Ces stratégies peuvent être, soit déterministes, soit aléatoires, ce qui divise les méthodes en deux classes ; d'autre part les stratégies sont fixées à l'avance et ne peuvent pas être changées.

Dans ce travail nous décrivons aussi des méthodes où la stratégie de base peut être modifiée et peut aussi changer ses propres paramètres pour influencer la qualité des solutions tirées, ces méthodes sont en essence égales à certaines parmi celles qui sont déjà connues, mais elles se servent d'un modèle stochastique d'adaptation pour tenir compte des caractéristiques de l'ensemble produit exploré et aussi des résultats obtenus au cours de l'exploration. Nous en parlerons au chapitre suivant.

Les méthodes déterministes

On a proposé, jusqu'à présent, deux stratégies de base : énumération et association progressive ; la première est bien définie par son nom et la deuxième correspond à fixer des sous-assemblages et examiner les résultats de l'association de nouveaux homologues à ces sous-assemblages.

En ce qui concerne l'énumération nous avons retenu deux variantes :
- la méthode d'énumération simple (8) qui consiste à énumérer tous les r-assemblages sans omission ou répétition d'aucune d'elles.

C'était la méthode utilisée par Zwicky, lors de ses premières études dont le problème de la jet-propulsion. Elle correspond à la conception originale de la recherche morphologique, fondée sur l'exploration totale des possibilités.

Il faut naturellement définir un procédé systématique qui évite l'oubli et la répétition ; peut-être le plus convenable est l'exploration par niveaux, qui exige la définition d'un ordre total lexicographique sur l'ensemble produit.

Pour cela, on affectera chaque homologue d'un formateur F^i d'un indice compris entre 1 et n_i , n_i étant le cardinal de F^i :

$$F^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_{n_i}^i\} \quad (i = 1, \dots, r)$$

L'ensemble produit morphologique étant le produit :

$$\mathcal{P} = \prod_{i=1}^r F^i$$

un élément quelconque de \mathcal{P} (un r-assemblage) sera formé d'un homologue $\psi_{k_i}^i$ quelconque de chaque formateur :

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_r)$$

où $a_1 = \psi_{k_1}^1$

$$a_2 = \psi_{k_2}^2$$

$$a_r = \psi_{k_r}^r$$

On définit alors le niveau d'un r-assemblage a :

$$v_a = \sum_{i=1}^r k_i - r$$

soit la somme de ses indices, moins le nombre des formateurs ; alors le vecteur d'indices $(1, 1, 1, \dots, 1)$ - c'est à dire, celui qui correspond au r-assemblage formé par le premier homologue de chaque formateur - permet de conclure que cet r-assemblage a un niveau zéro.

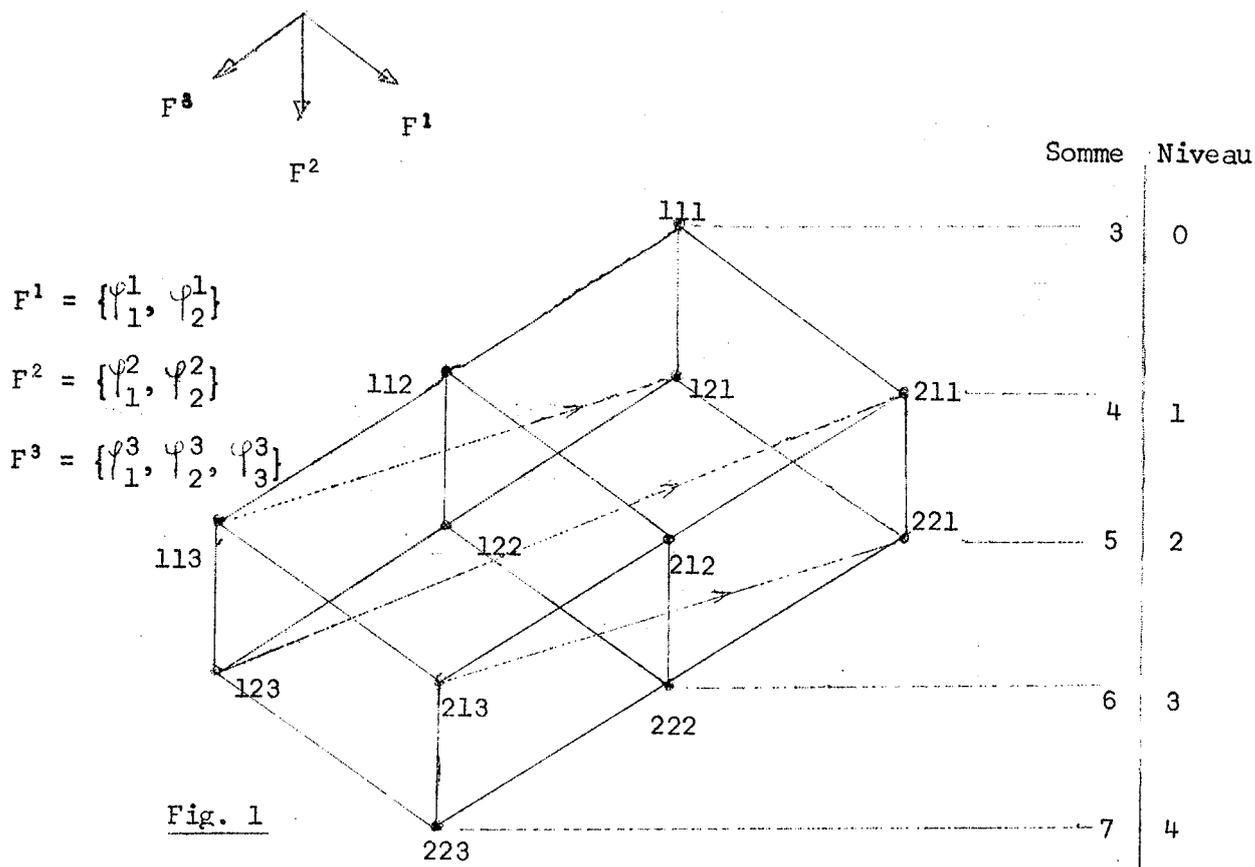
Remarquons au passage qu'il est commode de confondre la nomenclature des solutions (r-assemblages) et des vecteurs d'indices ; ainsi on appellera aussi ces dernières solutions, r-assemblages ou encore points.

Ainsi le point de plus haut niveau sera celui dont les coordonnées sont les cardinaux des formateurs : si on l'appelle b on aura

$$b = (n_1, n_2, \dots, n_r)$$

L'ordre total lexicographique est déterminé par l'ordre total des coordonnées des points correspondant au dernier formateur, puis à l'avant-dernier, etc..., jusqu'au premier. Lui-même peut servir à l'énumération des points au lieu des niveaux ; seulement cela reviendrait à changer toujours la même composante jusqu'à l'épuisement du formateur, puis passer au suivant, etc..., ce qui serait certainement très ennuyeux pour les participants.

On verra plus tard les détails de la définition de cette relation d'ordre et aussi que cela entraîne la définition d'une structure de treillis vectoriel sur l'ensemble \mathcal{P} ; cela étant dit, on peut représenter le treillis par son diagramme de Hasse sur l'exemple suivant :



L'ordre total lexicographique peut être obtenu en partant du point de niveau zéro suivant une direction parallèle à F^3 et ensuite en faisant des pas unitaires sur F^2 , toujours sur l'axe qui part du point (1, 1, 1), pendant que cela est possible ; chaque pas sera suivi d'un nouveau parcours selon F^3 . Chaque fois que l'on épuise F^2 (ce qui dans l'exemple n'exige qu'un pas) on fait un pas sur F^1 et on recommence ; on pourrait aussi inverser le processus en partant d'en bas.

Par contre, l'énumération par niveaux est faite de haut en bas et de gauche à droite, en partant du niveau zéro ; nous en donnerons un autre exemple, d'une morphologie très simplifiée, pour l'étude des instruments optique portatifs pour la correction de la vision :

INDICES	1	2	3	4
FORMATEURS				
ASSEMBLAGE	avec assemblage	sans assemblage		
FIXATION	oreilles	nez	sur l'oeil	dans l'oeil
NOMB. LENTILLES	deux	une		

Nous avons un total de 16 3-assemblages dont l'énumération par niveaux sera la suivante :

- niveau 0 - (111) avec assemblage, fixation aux oreilles, deux lentilles - une paire de lunettes de modèle habituel ;
- niveau 1 - (112) le même, avec une lentille
 - (121) des lunettes, mais avec fixation sur le nez : le pince-nez
 - (211) des lunettes sans assemblage
- niveau 2 - (122) une pince-nez avec une seule lentille
etc...
- niveau 4 - (232) sans assemblage, fixation sur l'oeil, une lentille : le monocle
 - (241) sans assemblage, fixation dans l'oeil, deux lentilles : les lentilles de contact
- niveau 5 - (242) une lentille - "monocle de contact".

Nous pouvons observer sur cet exemple qu'il y a, en moyenne, à peu près deux changements à la fois, ce qui rend l'étude beaucoup plus attrayante.

De ce point de vue, la méthode d'énumération est plus agréable à utiliser s'il y a peu de formateurs, puisque ces deux changements constitueront une modification importante par rapport au nombre de coordonnées des points. Encore faut-il que l'ensemble produit ait une grandeur raisonnable (disons, moins de 500 points). Alors la méthode d'énumération peut être utilisée avec un rendement satisfaisant. Dans le cas contraire, la recherche devient fastidieuse et les facultés créatrices du groupe **seront** très vite bloquées par la vision d'un travail qui semble interminable.

On y trouve la contrainte la plus importante qui pesait sur la recherche morphologique telle qu'elle a été décrite par Zwicky : conçue pour être appliquée par un chercheur isolé disposant d'un délai assez grand, elle ne prend pas en compte les contraintes psychologiques d'un groupe de recherche ; il se peut que ce point ait contribué à son abandon.

- la méthode d'énumération restreinte (8) variante de la méthode antérieure, conçue pour éviter l'énumération totale d'un ensemble assez grand, sans pourtant accepter un **risque** trop élevé de perte de bonnes solutions.

Pour cela, on doit définir, dans les formateurs, des relations d'ordre total selon des critères divers, comme originalité, applicabilité, coût, etc... . On aura donc un certain nombre de treillis vectoriels définis d'après la même morphologie, un point quelconque occupant des positions diverses dans chacun d'eux.

On adopte alors l'hypothèse que chacune de ces relations, définies sur les formateurs, induit une relation semblable sur l'ensemble produit ; c'est à dire que, si on représente par \geq l'affirmation "plus satisfaisante que ou autant" ou encore "domine non strictement", on aura pour un formateur quelconque,

$$F^i = \{\varphi_1^i, \varphi_2^i, \dots, \varphi_{n_i}^i\}$$

où si l'ordre est croissant,

$$\varphi_{n_i}^i > \varphi_{n_{i-1}}^i > \dots > \varphi_2^i > \varphi_1^i$$

Alors, d'après l'hypothèse, on aura, avec

$$k_i > l_i \quad \forall i,$$

$$(\varphi_{k_1}^1, \varphi_{k_2}^2, \dots, \varphi_{k_r}^r) > (\varphi_{l_1}^1, \varphi_{l_2}^2, \dots, \varphi_{l_r}^r)$$

Si l'hypothèse est correcte les meilleures solutions seront toujours celles des niveaux les plus élevés, la dernière étant la meilleure ; pourtant elle n'est pas vraie partout et il faudra prendre un nombre assez grand de points pour pouvoir s'attendre à en sortir la majorité des solutions utiles.

La définition de diverses relations d'ordre sert à améliorer la qualité des solutions tirées. On peut s'en servir de deux façons : on peut prendre dans chaque treillis un certain nombre de points par énumération des niveaux, en partant du point de niveau le plus élevé, ou bien on attribue des poids aux différents critères utilisés et on en fait la somme pour arriver à un ordre unique.

Exemple : soit la morphologie de la fig. 1, où on appelle les homologues A, B, C, D, ..., etc, et soit l'utilisation comme critères de l'originalité, la disponibilité, la fiabilité et le coût ; supposons alors que les formateurs ordonnés d'après ces critères se présentent de la façon suivante :

	ORDRE PAR ORIGINALITE	ORDRE PAR DISPONIBILITE	ORDRE PAR FIABILITE	ORDRE PAR COUT
	1 : 2 : 3	1 : 2 : 3	1 : 2 : 3	1 : 2 : 3
F ¹	A : B :	B : A :	A : B :	B : A :
F ²	C : D :	C : D :	C : D :	D : C :
F ³	E : F : G	F : E : G	G : E : F	F : G : E

Un 3-assemblage tel que BDG correspondra donc à (2, 2, 3) (niveau 4), (1, 2, 3) (niveau 3), (2, 2, 1) (niveau 2) et (1, 1, 2) (niveau 1), dans les quatre treillis ainsi définis.

On peut alors juger les points d'après l'importance relative des quatre critères. Si on suppose qu'ils sont également importants il suffira de calculer la somme des indices de chaque homologue dans son formateur, chez les quatre formes d'ordonner, autrement il faudra multiplier chaque indice par le poids du critère et sommer après.

Soit le cas d'importance égale : on aura

FORMATEUR	HOMO- LOGUE	SOMME INDICES	HOMO- LOGUE	SOMME INDICES	HOMO- LOGUE	SOMME INDICES
F ¹	A	6	B	6		
F ²	C	5	D	7		
F ³	E	8	F	7	G	9

L'ordre de F^3 serait donc F, E, G, celui de F^2 ne serait pas altéré et pour F^1 il faudrait encore prendre une décision.

On prendrait alors un nombre suffisant de points - par exemple, vingt à cinquante par cent - à partir de celui de plus haut niveau.

Si le découpage est fait sur tous les treillis, on s'intéressera surtout aux points qui se trouvent dans plus d'un découpage, c'est à dire ceux qui satisfont en degré élevé à plus d'un critère.

En poursuivant avec l'exemple nous allons voir toutes ces possibilités d'étude sur la table suivante, où l'ordre est croissant :

POINT	ORDRE PAR ORIGINALITE	ORDRE PAR DISPONIBILITE	ORDRE PAR FIABILITE	ORDRE PAR COUT (DECROISSANT)	ORDRE MIXTE ⁽¹⁾
111	ACE	BCF	ACG	BDF	ACF
112	ACF	BCE	ACE	BDG*	ACE
121	ADE	BDF	ADG	BCF	ADF
211	BCE	ACF	BCG	ADF	BCF
113	ACG	BCG	ACF	BDE	ACG
122	ADF	BDE	ADE	BCG	ADE
212	BCF	ACE	BCE	ADG	BCE
221	BDE	ADF	BDG*	ACF	BCF
123	ADG	BDG*	ADF	BCE	ADG
213	BCG	ACG	BCF	ADE	BCG
222	BDF	ADE	BDE	ACG	BDE
223	BDG*	ADG	BDF	ACE	BDG*

(1) D'après la décision sur l'ordre de F^1 , l'ordre dans l'ensemble produit pourrait être égal à celui par disponibilité ; nous avons pris l'option contraire pour montrer les deux résultats.

On voit que les points BDG et ADG satisfont à deux des quatre critères dans les deux derniers niveaux, et à trois des critères dans la première moitié de l'ensemble produit à partir du niveau le plus élevé.

Sur la table on peut observer que BDG est une solution très originale, assez disponible et fiable, mais très chère. De même, ADG est assez originale, très disponible et de prix moyen, mais elle est peu fiable.

D'après l'ordre mixte on déciderait en faveur de BDG, si l'importance des critères est équivalente ; il convient pourtant de remarquer que, si on avait pris l'ordre inverse sur F, (on rappelle qu'il y avait eu une impasse) le résultat serait inversé. Donc il faut être très prudent lors des décisions que l'on prend par ce critère mixte.

Cette méthode peut bénéficier beaucoup de l'utilisation d'un ordinateur, qui pourrait donner rapidement les résultats concernant le découpage de l'ensemble produit, le nombre de fois de sortie de chaque point en faisant des différents découpages (soit par exemple à dix, vingt, etc, par cent du total des points) et il pourrait aussi vérifier l'influence de la variation des poids donnés aux différents critères, sur le résultat du découpage basé sur l'ordre mixte. On aurait donc un outil très maniable ce qui rendrait la méthode beaucoup plus efficace.

Les méthodes d'association progressive sont très efficaces et beaucoup plus stimulantes que celles d'énumération. Cela est dû à la participation directe du groupe à la sortie des solutions, qui sont véritablement assemblées par les participants.

En vérité, elles ne sont pas complètement déterministes : nous les avons rangées à côté des méthodes d'énumération parce que la partie déterministe est, de beaucoup, la plus importante.

Nous en avons retenu trois variantes dont la deuxième s'approche plus des méthodes aléatoires :

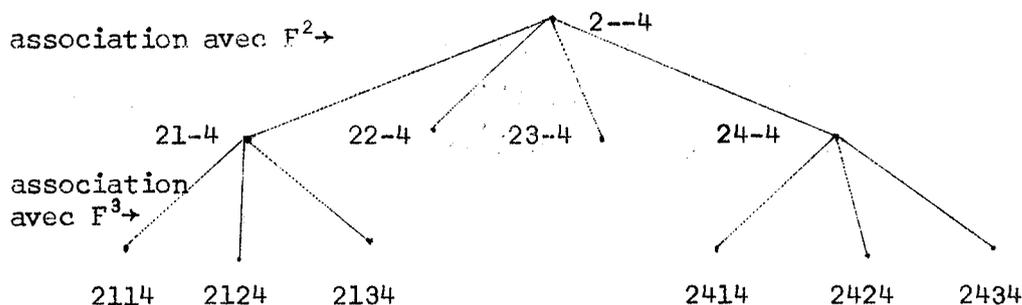
- la méthode d'association unitaire emploie un tirage d'un r -assemblage qui sert de point de départ. On demande au groupe d'en sortir un k -sous-assemblage ($k < r$) constitué des composantes qui l'intéressent le plus.

On aura $(r - k)$ positions vides ; le groupe choisira alors un formateur parmi ceux qui correspondent à ces positions et il associera successivement au k -sous-assemblage retenu, les homologues de ce formateur, l'un après l'autre.

Le résultat de cette association est un certain nombre de $(k + 1)$ -sous-assemblages ; parmi eux, on choisira les plus intéressantes, on choisira aussi un nouveau formateur non encore associé, et ainsi de suite ; on construira de ce fait un arbre de (k) , $(k + 1)$, ..., $(r - 1)$ -sous-assemblages dont les branches sans intérêt seront successivement éliminées, et le résultat final sera un certain nombre de r -assemblages qui seront encore examinés ; après quoi, on pourra réinitialiser le processus en tirant au hasard un nouveau point de départ.

Soit par exemple une morphologie constituée de quatre formateurs, avec 4, 4, 3 et 4 homologues respectivement.

Soit $(2, 1, 3, 4)$ le point de départ tiré et soit que le groupe ait choisi le paramètre et la quatrième composante comme étant les plus intéressantes. On aura alors une r -sous-assemblage et les formateurs F^2 et F^3 seront libres pour l'association :



Nous avons supposé que les 3-sous-assemblages correspondants aux homologues 2 et 3 de F^2 n'étaient pas intéressants ; alors ils ont été éliminés et l'association a été faite avec les deux qui sont restés.

On voit que le tirage ne sert qu'à une initialisation dans cette méthode ; par contre, dans celle qui suit il sera aussi un auxiliaire dans le travail d'association.

- la méthode d'association multiple prend aussi un r-assemblage tiré au hasard et en dégage un k-sous-assemblage ($k < r$) ; ensuite on tire un (r-k)-sous-assemblage dont on sépare aussi les éléments qu'il convient le mieux d'ajouter au k-sous-assemblage initial, on répète le tirage avec les formateurs qui restent et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'un r-assemblage.

Exemple : soit une morphologie avec sept formateurs et soit le 3-sous-assemblage de départ (4, -, -, 1, -, -, 2)

Début	1er tirage	2ème tirage	3ème tirage	
4--1--2	→ -12-23-	--5--4-	-----6-	
	41-12-2	41512-2	4151262	(7-assemblage obtenu)

On peut naturellement refaire un tirage si on ne trouve rien d'attrayant, ce qui peut arriver surtout quand on est en train d'utiliser les derniers formateurs ; dans l'exemple, si le seul homologue obtenu lors du troisième tirage n'était pas satisfaisant, on ferait un quatrième tirage, et ainsi de suite.

Le rôle joué par le tirage est évidemment d'autant plus important que l'on associe moins d'éléments à la fois.

Ces méthodes, surtout celle d'association multiple, introduisent un concept très important pour l'efficacité de l'exploration, celui de la synergie d'intérêt. En effet, il peut arriver qu'un homologue, qui n'est pas de lui-même très attractif ou stimulant, "prenne un lustre particulier dans une combinaison originale" selon l'expression de A. JONES. Cela peut même arriver à tous les éléments d'une telle combinaison, c'est à dire que l'on peut obtenir des combinaisons hautement originales à partir d'homologues qui ne le sont pas eux-mêmes.

La méthode d'association multiple fait appel à ce phénomène, comme on peut voir d'après le critère d'association : on n'associe au sous-assemblage déjà existant, que les homologues de ceux tirés plus tard, qui présentent un intérêt quand ils sont associés à ce sous-assemblage.

Ce phénomène est aussi à la base de la stratégie des méthodes adaptatives, qui cherchent exactement à sortir avec une probabilité plus élevée, ces combinaisons privilégiées.

La troisième méthode d'association progressive est assez semblable à celle d'association unitaire, si ce n'est par le fait qu'elle travaille avec des ensembles de sous-assemblages ; aussi l'ordre d'association est en général sans rapport avec le contenu des formateurs.

- la méthode séquentielle déterministe (8) prend tout d'abord une sous-morphologie à deux formateurs ; soit alors une morphologie

$$\mathcal{U} = \{F^1, F^2, \dots, F^r\} ;$$

soit que l'on choisit la sous-morphologie

$$\mathcal{U}' = \{F^1, F^2\}$$

dont l'ensemble produit est

$$\mathcal{P}' = F^1 \times F^2$$

Cet ensemble contiendra $n_1 \times n_2$ 2-sous-assemblages dont on va choisir, d'après un jugement, un sous-ensemble B_2 qui contiendra les plus attractifs ; soit qu'il contienne p_2 éléments.

On fera alors le produit

$$\mathcal{P}'' = B_2 \times F^3$$

c'est à dire que l'on associera à chaque sous-assemblage de B_2 tous les homologues de F^3 , l'un après l'autre.

\mathcal{P}'' contiendra alors $p_2 \times n_3$ 3-sous-assemblages ; d'après un jugement on sépare B_3 contenant p_3 3-sous-assemblages ; on effectue le produit

$$\mathcal{P}''' = B_3 \times F^4$$

et ainsi de suite, jusqu'à l'obtention d'un ensemble B_{r-1} dont les éléments seront des r -assemblages.

Cette méthode a l'avantage de permettre une étude itérative plus généralisée que celle d'association unitaire, ce qui peut apporter une vision très nette de l'influence des homologues.

Comme désavantage on peut noter qu'elle est fortement dépendante de l'ordre dans lequel les formateurs sont introduits ; il est difficile de les choisir convenablement puisqu'il n'y a pas qu'un seul sous-assemblage comme point de départ ; donc, pratiquement cet ordre sera pré-déterminé. Evidemment l'ordre d'association est important pour les résultats obtenus : un formateur qui serait introduit avant un autre quelconque pourrait être nuisible à beaucoup de sous-assemblages qui seraient peut-être rehaussés par cet autre formateur ; alors ils seront éliminés.

On peut éviter en partie cet inconvénient en reprenant la stratégie deux ou trois fois, selon des ordres différents, jusqu'à l'obtention des sous-ensembles B_3 ou B_4 par exemple ; alors on suivra la voie la plus riche en sous-assemblages attractifs, ou on poursuivra simplement l'étude de toutes les successions.

Il est très convenable de travailler sur ordinateur, car le nombre de sous-assemblages traité à chaque fois est habituellement assez grand (disons, de trente à une centaine).

Cette méthode est très voisine de celle des matrices de découverte, due à MOLES (2).

Les méthodes aléatoires

Dans ces méthodes on fait toujours des tirages au hasard, soit de tous les éléments de r-assemblages, soit seulement de quelques uns à la fois. Ils ont l'avantage de créer une atmosphère de jeu dans le groupe de recherche ; nous avons vu plus haut que cela est très avantageux du point de vue de la stimulation créatrice.

Nous en avons retenu trois stratégies, assez différentes les unes des autres :

- la méthode de randomisation libre (8) est la plus simple et très convenable pour des ensembles contenant un grand nombre de r-assemblages, où les méthodes d'énumération sont insuffisantes pour donner une vision claire des possibilités de la morphologie. On cherchera alors à faire un échantillonnage aléatoire de l'ensemble en définissant sur chaque formateur une loi de probabilité :

$$F_i = \{\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_{n_i}^i\} \quad , \quad P(\psi_k^i) = p_k^i, \forall i$$

où on aura

$$\sum_{k=1}^{n_i} P_k^i = 1 \quad \forall i$$

On applique le plus souvent une loi équiprobable qui peut être modifiée si cela s'avère plus convenable.

On fait alors un tirage au hasard obtenant un homologue de chaque formateur. Ce tirage peut être fait à la main ou à l'aide d'un programme d'ordinateur.

S'il n'y a pas d'ordinateur, on peut utiliser des dés de 6 ou 20 faces (dés icosaédriques, qui peuvent tirer des nombres de 0 à 9) et selon le plus grand nombre d'homologues existant dans un formateur on utilisera directement le nombre obtenu ou on jettera plusieurs dés à la fois, ayant préparé tout d'abord une table d'intervalles qui sera utilisée pour interpréter les résultats du tirage.

Exemple : pour une morphologie contenant des formateurs de cinq, six et douze éléments on pourra :

- soit utiliser un dé pour les deux premiers formateurs (pour le premier on le relancera si on obtient six) et deux dés pour le troisième ;

- soit utiliser trois dés icosaédriques et utiliser la table d'intervalles :

	F ¹ (5 homologues)	F ² (6 homologues)	F ³ (12 homologues)
1	de 000 à 199	de 000 à 166	de 000 à 083
2	de 200 à 399	de 167 à 333	de 084 à 167
etc.	etc.	etc.	etc.

La même table peut être utilisée pour interpréter des nombres obtenus d'après une table de nombres aléatoires de type ordinaire ; mais il est plus commode d'utiliser une table à modules divers (voir Appendice V) qui permettra le tirage direct.

Le plus grand avantage de la randomisation libre est l'impact psychologique qu'elle exerce sur le groupe. Le changement violent et continu des structures présentées oblige le raisonnement à sauter d'une description à l'autre, la plupart du temps complètement différente de l'antérieure. Ce mécanisme est très efficace dans les sens du déblocage de la pensée et de l'appel à la créativité.

Son emploi résulte souvent en des associations d'idées assez distinctes de celles apportées par les solutions tirées ; on peut dire qu'elle est, parmi les méthodes de recherche morphologique, la moins liée à la structure de l'ensemble de solutions et aussi qu'elle est la méthode qui donne plus de liberté à l'imagination. Elle convient donc à l'étude des problèmes encore mal structurés, d'analyse difficile, ou peu systématiques ; son seul désavantage est dans le fait qu'elle est très épuisante ; mais l'intense atmosphère de jeu qu'elle développe contribue à masquer cet inconvénient.

- la méthode du chemin aléatoire est une forme d'exploration plus systématique que la randomisation ^{libre} ; elle exige la définition d'une distance entre deux points de l'ensemble produit (distance de Hamming généralisée) (12)

$$\forall a_1, a_2 : a_1 = (\varphi_{k_1}^1, \varphi_{k_2}^2, \dots, \varphi_{k_r}^r)$$

$$a_2 = (\varphi_{\ell_1}^1, \varphi_{\ell_2}^2, \dots, \varphi_{\ell_r}^r)$$

$$\implies d(a_1, a_2) = \sum_{i=1}^r |k_i - \ell_i|$$

Avec cette définition, nous pouvons dire que la succession des points tirés par cette méthode est obtenue d'après des sauts dont la distance est donnée par une règle connue. En l'absence de toute autre précision on comprendra que cette distance est constante et unitaire.

On prendra alors comme départ un point choisi, ou tiré au hasard, et on en changera les homologues, un à la fois, aléatoirement. Ce changement sera toujours fait au bénéfice d'un homologue voisin, dans le formateur où aura lieu le changement.

Le chemin peut, ou non, être élémentaire, c'est à dire que les répétitions peuvent ou non être permises. Dans la plupart des cas on travaille avec des chemins non-élémentaires parce que autrement la probabilité de répétition pourrait être parfois très significative, surtout si le chemin est en train de toucher les bornes du treillis. D'autre part, cela peut conduire à des impasses ; donc le programme qui exécute la méthode doit avoir une sécurité prévue à cet égard.

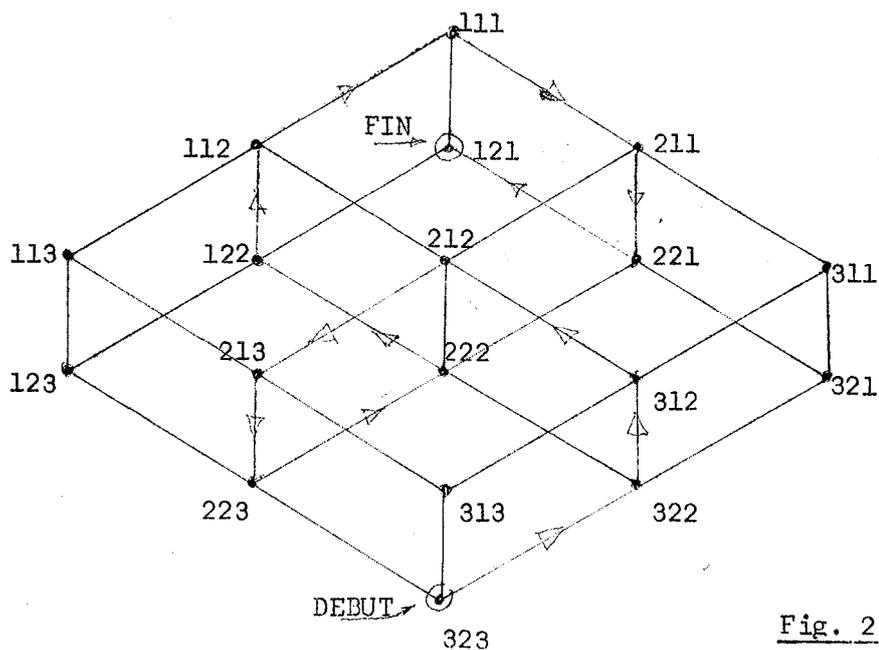


Fig. 2

Dans l'exemple ci-dessus le chemin qui avait débuté au point le plus élevé (323) arrive à une impasse en (121) ; alors on pourra choisir un nouveau point de départ ou admettre un saut plus grand.

Le tirage non-équiprobable dans cette méthode correspond à une affectation de poids non tous égaux aux différentes directions. Un cas particulier de non-équiprobabilité est celui que l'on applique pour obtenir un chemin non-élémentaire : les probabilités seront nulles ou non-nulles selon le cas où les points voisins seront ou non déjà sortis. C'est aussi le procédé de blocage de direction utilisé dans la stratégie adaptative, comme on le verra plus loin.

En raisonnant de la même façon que pour l'énumération on voit qu'il n'y a guère d'intérêt pour l'examen d'un point isolé, si on applique cette méthode, puisqu'il n'y a qu'un changement d'un point au suivant. Il convient donc d'examiner toujours un bloc de points tirés en séquence ; le changement progressif observé permettra parfois une appréciation dynamique de la configuration étudiée. On travaillera alors avec des blocs de six à douze points, ce qui a l'avantage supplémentaire d'augmenter la vitesse d'exploration.

Du point de vue psychologique la méthode est moins frappante que la randomisation libre, convenant donc à l'étude de problèmes plus systématiques ; nous croyons aussi qu'elle doit convenir mieux d'une façon à peu près générale, aux problèmes normatifs.

- la méthode séquentielle aléatoire (8) basée sur les probabilités d'association d'un homologue appartenant à un formateur, aux homologues appartenant à un autre formateur. Ces probabilités seront, soit fixées d'avance, soit modifiées de temps en temps, d'après l'opinion du groupe sur la réussite des associations ; on voit donc que l'ordinateur y sera très utile.

On partira alors du premier formateur et on définira une loi de probabilité pour chaque homologue, par rapport à ceux du deuxième :

$$P(\varphi_j^{(2)} | \varphi_i^{(1)}) = p_{ij}^{(1)} \quad , \quad \sum_{j=1}^{n_2} p_{ij}^{(1)} = 1 \quad , \quad \forall i$$

De même pour les homologues appartenant à F_2 , par rapport à F_3 , et ainsi de suite ; en général on aura

$$P(\varphi_j^{(k+1)} | \varphi_i^{(k)}) = p_{ij}^{(k)} \quad , \quad \sum_{j=1}^{n_{k+1}} p_{ij}^{(k)} = 1 \quad , \quad \forall i$$

On fera alors par tirage au hasard ce qui est fait par choix, dans la méthode séquentielle déterministe ; l'ensemble de toutes les associations possibles peut être représenté par un graphe sans circuit (11) où chaque arc sera affecté d'une probabilité, celle de l'association des deux homologues correspondants aux points qu'il unit :

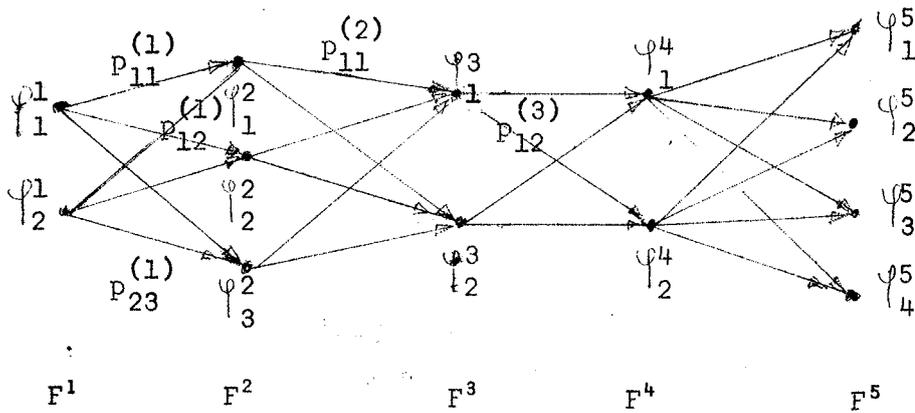


Fig. 3

Chaque chemin possible dans le graphe correspond à un sous-assemblage, les chemins maximaux correspondant aux r-assembles.

La méthode a l'avantage de donner beaucoup de liberté au tirage, tout en étant par sa nature une méthode non-équiprobable (en effet si on l'applique avec toutes les probabilités égales dans chaque formateur elle sera identique à la randomisation libre). Elle marque déjà un pas en avant par rapport à celle-ci puisqu'elle prend en compte des associations d'homologues et non plus des homologues isolés ; c'est à dire que l'affectation d'une probabilité à un couple donné d'homologues permet de valoriser sa synergie d'intérêt. Cette affection pose évidemment des questions sur les critères à utiliser ce qui est une difficulté non négligeable ; ils doivent être établis à l'avance et la détermination des probabilités sera plus avantageusement faite à l'aide d'un programme d'ordinateur.

La méthode telle que l'on vient de la définir ne prévoit pas des probabilités d'association pour tous les couples possibles d'homologues ; donc il faudra parfois changer l'ordre des formateurs. On pourrait aussi essayer de définir des probabilités pour tous les couples mais cela exigerait un effort de préparation trop élevé, sauf si on les prend a priori comme équiprobables et si on pondère les couples que l'on juge intéressants.

Il convient de noter aussi qu'une telle pondération sera toujours plus ou moins empirique ; en effet il est très difficile de justifier convenablement une stratégie de pondération. Cette remarque est aussi valable pour les autres méthodes aléatoires.

La recherche morphologique par ressemblance (8)

Cette méthode est le premier pas pour exploiter la dualité dont nous avons parlé plus haut, entre la recherche morphologique et le problème de reconnaissance des formes. En effet la notion de ressemblance permet d'établir une première liaison entre la structure de l'ensemble produit morphologique et le mécanisme de la prise en compte globale. On peut donc voir l'intérêt qui présenterait une consolidation de cette liaison comme instrument de travail pour l'étude de ces deux problèmes.

Soient dans un ensemble produit deux sous-ensembles disjoints de r-assemblages, A et B. On dira qu'un r-assemblage appartenant à A est "intérieur par rapport à B" s'il n'est pas possible de trouver parmi les points immédiatement voisins à celui en question (c'est à dire, à une distance unitaire du point en question), un point appartenant à B.

D'après la proportion de points de A, intérieurs par rapport à B, nous pouvons dire que A sera plus ou moins compact par rapport à B ; c'est à dire que cette notion de compacité est toujours conditionnelle.

On arrive donc aux notions de ressemblance et dissemblance : si on cherche à séparer, parmi les éléments de l'ensemble produit, ceux qui appartiennent à A et B, à l'aide d'une propriété liée à celles qui définissent les relations d'ordre dans les formateurs, on notera qu'il sera d'autant plus facile de le faire, que A et B seront plus compacts l'un par rapport à l'autre.

On a défini un "indice de dissemblance" ou "taux de compacité" qui sert à donner une mesure de la facilité plus ou moins grande de distinction entre deux tels sous-ensembles. Il est défini comme suit :

$$\gamma(A|B) = \frac{\text{nombre de points intérieurs de A par rapport à B}}{\text{nombre de points A}}$$

soit exactement la proportion dont on vient de parler.

Un ensemble A sera "inséparable" d'un ensemble B si son taux de compacité est égal à 0, et il sera "parfaitement compact" par rapport à B, si le taux de compacité est égal à 1.

Soit comme exemple une morphologie de couleurs :

$F^1 = \{\text{blanc, jaune clair, jaune or}\}$

$F^2 = \{\text{blanc, bleu roi, marine}\}$

$F^3 = \{\text{blanc, rouge, grenat}\}$

La figure 4 montre le treillis défini sur l'ensemble produit ; pour obtenir une vision plus claire on l'a représenté sur un cube opaque, plutôt que d'utiliser le diagramme de Hasse. Les points non visibles sont représentés à côté ; le point de niveau zéro est, dans la perspective, le plus proche de l'observateur.

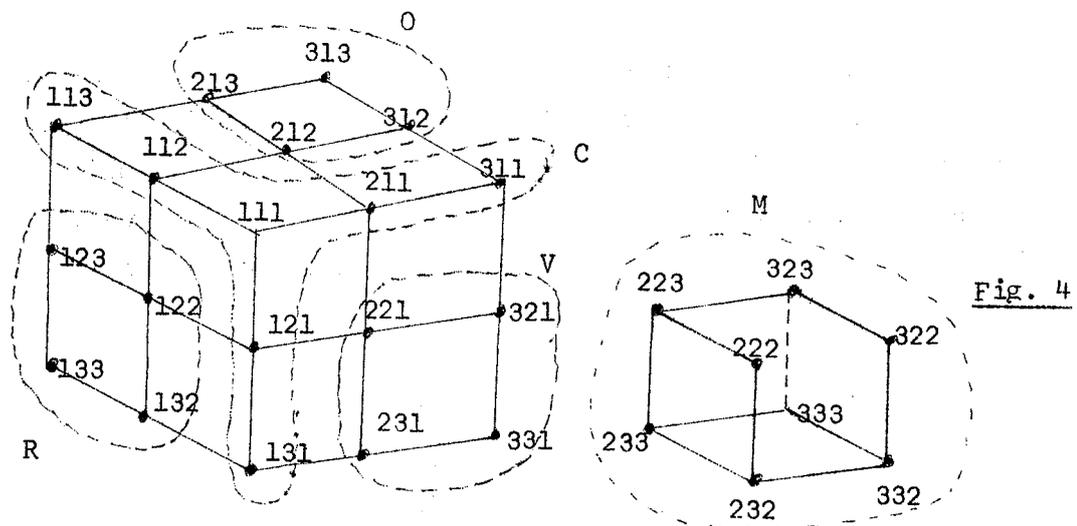


Fig. 4

D'après les combinaisons de couleurs, nous pouvons diviser l'ensemble produit en cinq sous-ensembles, soient :

- C - couleurs claires
- V - tonalités de vert
- O - tonalités d'orange
- R - tonalités de violet
- M - tonalités foncées (marrons)

(On considère que les proportions des mélanges sont de même ordre de grandeur, par exemple, qu'aucune couleur n'y participe avec moins de dix pour cent).

Les indices de dissemblance correspondants seront :

- égaux à 1 : entre C et M, R et O, O et V, O et R, dans les deux sens ;
- égaux à 0 : entre V et M, R et M, O et M ;
- égaux à 1/2 : entre M et V, M et R, M et O ;
- égaux à 1/4 : entre V et C, R et C, O et C ;
- égaux à 3/7 : entre C et V, C et R, C et O.

Nous pouvons observer dans cet exemple que le taux de compacité donne une idée raisonnablement bonne de la ressemblance des solutions dans l'ensemble produit morphologique. On pourrait encore pousser plus loin l'étude de l'exemple en divisant C d'après la tonalité - jaune, bleu ou rouge - et en calculant les indices de ces sous-ensembles par rapport à V, R et O.

Il faut remarquer quand même que cette partition est la plus favorable à l'égard de la dissemblance et on ne sait pas toujours a priori comment atteindre le meilleur résultat. Donc la méthode doit être encore perfectionnée pour permettre la reconnaissance des configurations complexes que la morphologie contient souvent.

Ce que l'on cherchait avec cette morphologie serait, par exemple, de découvrir des nouvelles tonalités claires ; alors la méthode devrait prendre en compte ces relations d'ordre définies sur les formateurs (qui portent exactement sur la clarté des couleurs) et rechercher autour du point de niveau zéro (blanc pur) pour essayer de trouver un sous-ensemble compact par rapport à celui constitué par ce point ; après il pourrait aller plus loin, à la recherche d'autres sous-ensembles ayant un indice de dissemblance le plus bas possible par rapport au premier sous-ensemble. Une telle stratégie ne serait rentable qu'avec un très grand nombre de tonalités possibles, mais on pourrait alors obtenir une liste contenant une proportion élevée des tonalités recherchées.

On voit que, ce que fait la méthode, c'est essayer de remplacer l'appréciation d'objets non mesurables par une mesure ; c'est là une considération qui montre aussi qu'il faut poursuivre l'étude du problème, parce qu'une solution définitive ne saurait pas se passer d'une étude directe des difficultés posées par le caractère non mesurable habituel dans la recherche morphologique. La voie est encore à ses débuts et seul l'avenir pourra y apporter une réponse.

5 - LES METHODES ADAPTATIVES

Nous avons déjà parlé de l'importance de la synergie d'intérêt pour les possibilités d'innovation de la morphologie ; nous avons aussi remarqué que certaines méthodes ont des stratégies qui leur permettent de prendre en compte, à un degré plus ou moins haut, cette propriété dans des couples et même dans des solutions complètes.

Ces capacités étaient pourtant implicites dans les stratégies elles-mêmes ; il n'y avait pas de possibilités générales de spécification de sous-assemblages quelconques présentant une synergie positive en degré élevé, pour permettre aux méthodes de les trouver avec une probabilité plus élevée.

On vérifie très souvent que l'intérêt ou l'originalité qui apporte une solution sont exclusivement dûs à un sous-assemblage contenu dans cette solution ; or, à chaque sous-assemblage correspond un sous-ensemble de points qui le contiennent et dont les éléments apporteront avec eux, sauf pour des incompatibilités autres, les qualités reconnues dans le sous-assemblage. Alors il y aura, dans les ensembles produits, de telles "cibles" et il serait très intéressant de pouvoir en sortir des points avec une probabilité plus grande.

Des zones très intéressantes sont les intersections de deux de ces sous-ensembles ; le choc des deux idées fondamentales apporte parfois des combinaisons très originales.

Les méthodes adaptatives que nous avons proposées recherchent exactement ces sous-ensembles privilégiés, la recherche étant orientée de façon à permettre toujours l'exploration des zones externes aux sous-ensembles déjà identifiés ; cela permet d'apporter toujours de la nouveauté au travail et évite l'abandon des régions encore peu connues ou qui semblent avoir peu d'intérêt.

Ces méthodes utilisent un modèle stochastique d'adaptation, c'est à dire un algorithme capable de modifier itérativement les probabilités de sortie des configurations qui lui soient attachées ; dans notre cas, ces configurations seront des sous-assemblages considérés comme ayant un intérêt particulier d'après un jugement fait soit par un groupe de recherche, soit par un sous-programme capable de les soumettre à des tests convenablement choisis. Le groupe seul étant capable d'examiner des concepts non-mesurables, l'utilisation d'un programme de test sera donc restreinte aux cas mesurables.

Dans les études de psychologie expérimentale les modèles d'adaptation doivent simuler le comportement d'un sujet quelconque soumis à un processus heuristique ; ce n'est pas notre cas, parce que l'ordinateur lui-même peut être considéré comme le sujet en question ; il n'y a donc pas de simulation, plutôt un processus adaptatif direct.

Le modèle stochastique

Nous avons proposé l'utilisation d'un modèle stochastique d'adaptation dans le cadre d'une recherche effectuée sur les éléments d'un univers combinatoire ; il s'agit d'une application qui apporte beaucoup d'inconnues, soit du côté de la technique d'exploration elle-même, soit par les problèmes psychologiques liés à l'utilisation d'une méthode adaptative par un groupe de recherche.

Il nous semble que ces derniers problèmes ne pourront être éclaircis que par des études expérimentales conduites par des psychologues ; donc nous nous sommes volontairement limités à utiliser un modèle déjà connu, choisi d'après notre expérience personnelle avec les méthodes de recherche morphologique. Ce modèle est suffisamment souple pour pouvoir être adapté aux conditions particulières d'une variété assez grande de conditions d'exploration ; cela convient car on peut avoir des morphologies de toute grandeur et contenu, et les interdépendances de leurs éléments peuvent varier à l'infini.

Le modèle peut être convenablement décrit par la formulation du modèle à états qu'a présenté ROUANET (13) ; il est défini par les caractéristiques suivantes :

- un ensemble d'états $Z = \{z^0, z^1\}$ qui peuvent, par analogie avec les problèmes de psychologie expérimentale, être appelés respectivement "sans conditionnement" et "de conditionnement" ;
- un ensemble de réponses $A = \{a^1, a^2\}$ qui peuvent être aussi par analogie appelées "correcte" et "incorrecte" ;
- une situation-stimulus $S = \{s_1, \dots, s_{n_1}\}$ dont les éléments seront appelés "stimuli" ;
- un événement renforçant constant, hypothétique, qui correspondrait à l'identification de la réponse donnée, soit avec a^1 , soit avec a^2 .

La stratégie du modèle est définie par :

- un axiome de réponse :

$$P(a_n = a^1 | z_n, a_{n-1}, z_{n-1}, \dots, a_1, z_1) = \alpha(a^1, z_n)$$

où

$$\alpha(a^1 | z_n = z^1) = \omega$$

$$\alpha(a^1 | z_n = z^0) = \gamma$$

- un axiome d'adaptation :

$$P(z_n = z^1 | z_{n-1}, a_{n-1}, \dots, z_1, a_1) = \rho(z^1, a_{n-1}, z_{n-1})$$

où la fonction ρ prendra les valeurs suivantes :

z_{n-1}	a_{n-1}	$\rho(z^1, a_{n-1}, z_{n-1})$
z^1	a^1	1
z^1	a^2	1
z^0	a^1	θ_1
z^0	a^2	θ_0

Cet axiome caractérise le processus comme markovien, étant donné que, par l'axiome de réponse, celle-ci ne dépend que de l'état présent du modèle.

On ne présentera au modèle qu'un stimulus à la fois ; cette stratégie de présentation permet donc l'étude du modèle par la technique utilisée pour les "modèles à un élément", les stimuli étant indépendants les uns des autres en ce qui concerne les résultats de l'application du modèle.

Un essai peut donc être décrit comme suit :

- un stimulus est présenté ; on considère que le modèle sera, au début du processus à l'état z^0 par égard à ce stimulus ;
- le modèle donne une réponse appartenant à A ; cette réponse sera a^1 avec probabilité γ si le modèle est dans l'état z^0 , ou avec probabilité ω s'il est dans z^1 ;
- après le renforcement hypothétique, si le modèle est dans z^0 il passera à z^1 :
 - avec probabilité θ_0 , si la réponse a été a^2 ;
 - avec probabilité θ_1 , si la réponse a été a^1 .

S'il est dans z^1 , il n'y aura pas de transition d'état.

Ce modèle a été décrit par KARUSH et DEAR (14, 15, 16).

Rappelons que, dans une séance d'étude d'une morphologie, la recherche dans une direction quelconque peut être interrompue et le but changé au moment où l'on veut ; donc, si cela n'a pas lieu, on peut imaginer qu'il y a de bonnes solutions parmi celles qui sortent, et qu'il conviendra alors d'en avoir une proportion espérée convenable. Il convient donc d'avoir un changement d'état après un certain délai ; dans cet état la proportion espérée des solutions voulues sera fixée à une valeur plus élevée que celle de l'état initial.

Les éléments de la situation-stimulus seront les sous-assemblages jugés intéressants ou originaux. La signification des réponses correcte et incorrecte dépendra de la méthode utilisée, donc on en parlera lors de la description détaillée des méthodes.

Les valeurs des paramètres γ , θ_0 et θ_1 seront obtenues en fonction des proportions voulues de réponses correctes et du délai de changement d'état, aussi bien que des caractéristiques de l'ensemble produit ; on en parlera en détail lors de l'étude markovienne des processus.

La fixation du paramètre ω dépendra de la méthode utilisée.

Avant de décrire les méthodes adaptatives que nous avons proposées, il convient de remarquer que l'ensemble des stimuli ne sera pas, en général, connu a priori ; ils seront identifiés pendant la recherche elle-même. L'ensemble sera d'abord vide ou il contiendra quelques éléments obtenus par un examen préalable de la morphologie.

Les méthodes

Nous décrivons l'introduction de la stratégie adaptative qui vient d'être présentée dans deux méthodes aléatoires ; cela nous fournit deux nouvelles méthodes :

- la randomisation libre adaptative, qui cherche à dévier la distribution uniforme des points tirés sur l'ensemble produit, caractéristique de la randomisation libre. Cette déviation sera faite en faveur des sous-ensembles définis par l'appartenance des sous-assemblages choisis comme stimuli.

Pour obtenir ce résultat il suffit de définir la réponse correcte du modèle comme étant le tirage d'un point qui possède, parmi ses coordonnées, les indices des homologues composant le sous-assemblage utilisé comme stimulus pour le tirage en question, dans les positions déterminées par les formateurs auxquels ils appartiennent ; et cela, avec probabilité 1 ; c'est à dire que, pour un point a quelconque, tiré lors de la présentation d'un stimulus s_k , on aura

$$P(a \in S_k | a_n = a^1) = 1$$

où S_k est le sous-ensemble défini par l'appartenance de s_k à tous ses points.

On fixera donc d'abord les coordonnées voulues et on tirera au hasard les autres.

La réponse incorrecte correspondra à un tirage libre de toutes les coordonnées du point ; il est évident qu'il y aura une probabilité non nulle de que le point appartienne à S_k , mais cette probabilité sera toujours assez faible pour permettre la continuation de l'exploration de l'ensemble produit dans ses parties considérées jusqu'alors comme non préférentielles.

Nous avons défini un essai dans cette méthode comme étant l'ensemble des actions exécutées, soit par le groupe, soit par l'ordinateur, depuis le tirage d'un stimulus (au hasard, ou choisi par le groupe) jusqu'avant le tirage du stimulus suivant. Un essai pourra donc fournir autant de points que l'on veut, tous compris dans la même réponse, ou, alternativement, chacun comportant une nouvelle décision sur la correction de la réponse (ce qui, d'ailleurs, a été adopté comme règle de fonctionnement du programme).

Dans cette méthode le paramètre w sera calculé de façon semblable à celle de γ , mais utilisant la proportion voulue de réponses correctes dans l'état z^1 .

Enfin, il est prévu que le modèle ne commencera à travailler que quand le nombre de stimuli aura atteint un seuil minimal ; ce seuil sera donné comme paramètre et sa valeur dépendra de l'opinion du groupe sur les difficultés que pourra présenter la recherche. Il sert à éviter une fixation excessive du modèle sur un trop petit nombre de stimuli ; on choisira dans la plupart des cas un nombre compris entre trois et huit, d'autant plus élevé que l'on croit plus difficile de dégager des nouveaux stimuli.

Ce paramètre sert aussi à empêcher l'usage du modèle, si on veut utiliser la méthode non-adaptative avec le même programme ; il suffit de le spécifier différent de zéro et de ne pas admettre des stimuli.

La méthode a tous les avantages de la randomisation libre, du point de vue psychologique ; en ce qui concerne la présence et la forme d'action de l'ordinateur exécutant un processus adaptatif, l'efficacité dépendra en grande partie de la préparation du groupe pour accepter son aide et ses limitations.

D'autre part l'existence de ce processus adaptatif peut être très stimulante en présence d'un problème difficile, ou d'une morphologie assez grande ; en effet la possibilité d'imprimer une certaine orientation à la sortie des solutions doit apporter un soulagement au groupe, qui pourrait autrement subir l'influence du seul inconvénient sérieux de la randomisation libre, c'est à dire la probabilité toujours élevée d'abandon de toute configuration, fût-elle la plus attractive, qui découle de l'équiprobabilité ; même la possibilité d'usage d'une stratégie de pondération n'apporte qu'un remède partiel à cet inconvénient.

De telles stratégies peuvent aussi bien être appliquées à la méthode adaptative, étant toujours entendu qu'il s'agit là de démarches tout à fait empiriques ; pourtant, dans un problème où l'évaluation peut être faite par un sous-programme de jugement cela peut être parfois très rentable ; tout dépendra de la complexité du problème et des possibilités de synergie, positive ou négative, que présente la morphologie.

- le chemin aléatoire adaptatif : dans cette méthode le chemin est orienté de façon à chercher le sous-ensemble défini par le stimulus utilisé et à l'explorer ainsi que ceux qui lui sont voisins.

L'adaptation du modèle à cette exigence est obtenue par la définition des réponses : ici, une réponse correcte correspondra à un saut sur une des directions qui mènent au sous-ensemble cherché (par souci de brièveté nous l'appellerons dorénavant "le stimulus", même avec un abus de langage). Cette définition est nécessaire parce que le stimulus ne peut en général être atteint avec un seul saut unitaire, le point de départ pouvant être n'importe où.

Un sous-assemblage-stimulus ayant j composantes ($2 \leq j < r$) il y aura aussi j directions qui y mènent ; le nombre de sauts qu'il faudra accomplir sur ces directions pour arriver au but sera naturellement égal à la somme des valeurs absolues des différences entre les indices du sous-assemblage et ceux du point qui leur sont correspondants.

Soit par exemple (2, 1, 3, 4) le point de départ et soit (0, 3, 0, 1) le sous-assemblage-stimulus (où les zéros remplissent les coordonnées qui n'ont pas d'intérêt) ; il faudra alors au moins

$$|1 - 3| + |4 - 1| = 5$$

sauts unitaires pour que le chemin arrive à un point quelconque du stimulus. Si on obtient cinq réponses correctes, l'objectif sera donc atteint.

La réponse incorrecte ne sera pas définie par complémentarité ; en effet, il convient d'interdire quelque retour sur les directions empruntées, ce qui aurait pour effet de retarder l'arrivée ; d'autre part il convient d'explorer convenablement la zone traversée par le chemin avant d'arriver au stimulus, alors la réponse incorrecte doit correspondre exclusivement à cette exploration et on interdira aussi les directions qui mènent au stimulus.

Si le stimulus a k coordonnées on aura donc au plus :

$$2(r-k)$$

directions possibles de réponse incorrecte ; il peut y en avoir moins, si le dernier point du chemin est situé sur les bords du treillis.

Dans cette méthode un essai pourra être défini de la même façon que pour la randomisation libre adaptative, sauf en ce qui concerne les réponses ; on aura toujours un point et un seul par réponse, et on aura aussi plusieurs réponses (donc plusieurs points) par essai. En effet, de même qu'avec la méthode non-adaptative, les solutions doivent être examinées en bloc.

Après chaque essai le stimulus utilisé est toujours ramené à l'état z^0 , le changement d'état n'ayant pas de sens pour un chemin différent.

Le stimulus ne pourra être changé que par une décision du groupe, ou, si le test est automatique, qu'après le nombre de tirages prévu pour que le stimulus soit atteint. Cela convient parce que l'arrivée peut ne pas être obtenue avec une seule succession de points, et aussi parce qu'il peut être convenable de pousser plus à fond l'exploration avant de changer de stimulus.

Il se peut que le point de départ appartienne lui-même au stimulus, dans ce cas on sera, dès le début, dans une situation correspondante à l'état z^1 , alors le programme prendra les dispositions nécessaires pour rejoindre tout de suite cet état.

Contrairement à ce qui se passe dans la méthode précédente, le paramètre ω ne peut pas être obtenu d'après les renseignements de l'analyse markovienne ; nous discuterons plus tard les raisons qui nous amènent à ne pas rechercher une autre voie d'étude pour le spécifier. Il sera donc donné au programme par le groupe ; la valeur la plus convenable est en principe de 0,5.

Du point de vue de l'application, la méthode est assez différente de la randomisation libre adaptative. Avec celle-là on peut être n'importe où à chaque moment, tout en ayant une probabilité plus élevée d'être dans une zone choisie ; la prise de connaissance de la morphologie est donc plus rapide. Par contre le chemin aléatoire permet une exploration plus systématique, plus spécialisée, et la configuration présentée au groupe est plus dynamique : celle de la succession de points voisins approchant peu à peu du but choisi.

D'un côté, on aura besoin d'un délai plus grand pour dégager un même nombre de stimuli ; d'autre part les stimuli existants seront beaucoup mieux explorés en un même délai de temps. Les avantages réciproques des deux méthodes dépendent de la composition de la morphologie.

Le chemin en dehors de stimulus constitue dans la plupart des cas une bonne partie de l'exploration de l'ensemble produit ; pour cela il convient parfois de choisir le point de départ plutôt que de le laisser au hasard, ce qui permet d'éviter des distances trop longues ou trop courtes à parcourir ; c'est aussi pourquoi, dans cette méthode, on ramène toujours le stimulus à l'état z^0 à la fin de chaque essai ; la transition faite pendant un chemin n'aurait pas de sens pour le chemin suivant.

Il y a une autre raison pour un choix du point de départ ; il se peut que la méthode, tout en progressant au long d'un formateur, rebrousse chemin avant d'arriver à la fin ; si cela arrive, les derniers éléments ne feront pas partie des solutions tirées pendant un délai assez long, donc il

est avantageux de prendre comme départ un point situé sur les bords du treillis (et contenant de ce fait un ou plus homologues extrêmes). Cela sera plus fréquent avec les plus grands formateurs, qu'il convient donc d'observer.

Des stratégies de pondération pourront être utilisées (par exemple, pour corriger la tendance dont nous venons de parler) mais, dans la plupart des cas, il sera très difficile de les établir, car la méthode a affaire à des directions et non pas à des homologues. Alors la pondération d'un homologue intéressant n'aurait d'effet que s'il était voisin d'un autre qui fasse partie du dernier r-assemblage tiré.

6 - ETUDE PROBABILISTE

La description probabiliste du comportement des méthodes aléatoires adaptatives, telle que nous l'avons envisagée, comprend deux parties :

- l'étude du modèle **stochastique** d'adaptation, pris à l'écart ;
- l'étude des méthodes adaptatives elles-mêmes, c'est à dire des stratégies des méthodes et de l'influence du modèle sur ces stratégies.

Etude du modèle

Le comportement du modèle isolé a été décrit de deux façons :

- l'étude des probabilités conditionnelles de transition d'état (16) ; son importance découle du fait qu'elle est à la base de la programmation des méthodes sur ordinateur. En effet, elle porte sur les probabilités conditionnelles de changement d'état pendant un essai quelconque ; or, à la fin de l'essai survient l'événement hypothétique qui est le **renforcement**, à l'issue duquel le programme "prend connaissance" de la qualité de la réponse qu'il a donnée. A ce moment-là, il sera capable de décider laquelle des probabilités conditionnelles de changement d'état doit être prise en compte ; le processus qui était en course sera donc remplacé par un **autre**, celui-ci étant axé sur la probabilité qui a été prise en compte. Cette probabilité sera ensuite utilisée pour le tirage au hasard d'un nouvel état, qui pourra être z^0 ou z^1 .

Ce processus étagé est caractéristique de l'état z^0 , étant donné que la transition $z^1 \rightarrow z^0$ est interdite ; il sera donc interrompu au moment où le changement d'état interviendra.

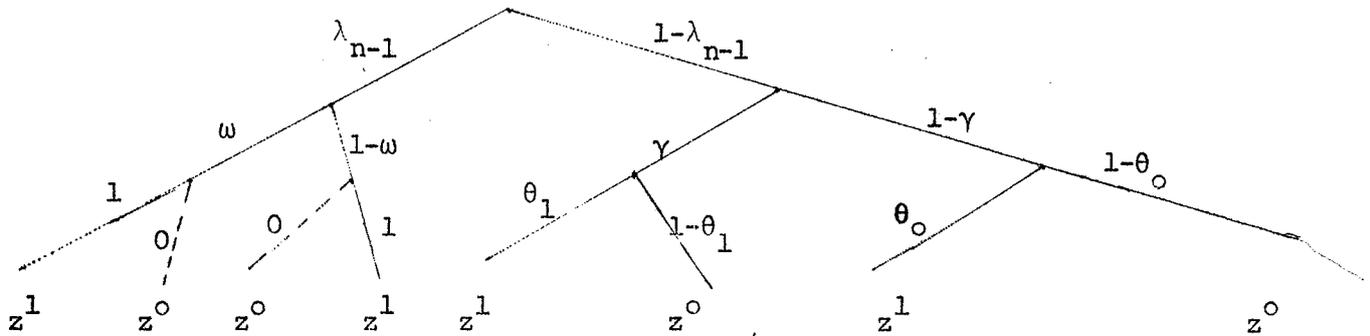
Soit donc un stimulus s_k quelconque ; soit

$$\lambda_{n-1}^k = P(z_n^k = z^1) \quad , \quad \lambda_0^k = 0$$

On ne prend qu'un stimulus à la fois et les stimuli sont indépendants les uns par rapport aux autres ; cela nous permet de laisser tomber l'index k et d'écrire :

$$\lambda_{n-1} = P(z_n = z^1) \quad , \quad \lambda_0 = 0$$

D'après les axiomes du modèle on peut dresser l'arbre représentatif des événements possibles pendant l'essai n :



Les probabilités conditionnelles des états par rapport aux réponses possibles seront :

$$P(z_n = z^1 | a_{n-1} = a^1) = \frac{P(z_n = z^1 \cap a_{n-1} = a^1)}{P(a_{n-1} = a^1)}$$

et

$$P(z_n = z^1 | a_{n-1} = a^2) = \frac{P(z_n = z^1 \cap a_{n-1} = a^2)}{P(a_{n-1} = a^2)}$$

or, nous avons

$$P(a_{n-1} = a^1) = \omega\lambda_{n-1} + \gamma(1 - \lambda_{n-1})$$

$$P(a_{n-1} = a^2) = (1 - \omega)\lambda_{n-1} + (1 - \gamma)(1 - \lambda_{n-1})$$

donc

$$P(z_n = z^1 | a_{n-1} = a^1) = \frac{\omega\lambda_{n-1} + \theta_1\gamma(1 - \lambda_{n-1})}{\omega\lambda_{n-1} + \gamma(1 - \lambda_{n-1})} = \lambda_n^+$$

et

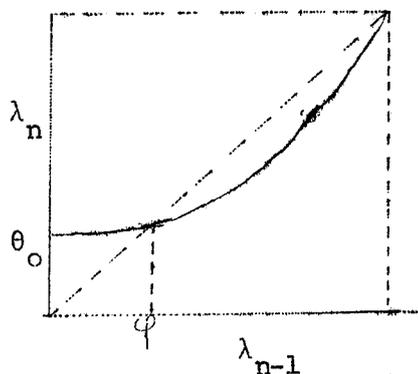
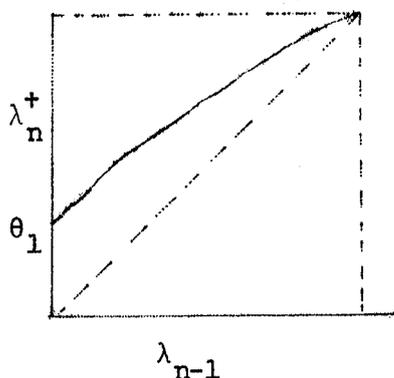
$$P(z_n = z^1 | a_{n-1} = a^2) = \frac{(1 - \omega)\lambda_{n-1} + \theta_0(1 - \gamma)(1 - \lambda_{n-1})}{(1 - \omega)\lambda_{n-1} + (1 - \gamma)(1 - \lambda_{n-1})} = \lambda_n^-$$

Après le renforcement hypothétique, le processus axé sur λ_{n-1} sera remplacé par un autre axé sur λ_n , où la valeur de λ_n sera

$$\lambda_n^+, \text{ si } a_{n-1} = a^1$$

$$\lambda_n^-, \text{ si } a_{n-1} = a^2$$

On peut juger de l'influence de la qualité de la réponse par l'examen des graphes continus de λ_n^+ et λ_n^- ; pour $\omega > \gamma$ ces graphes prendront l'allure suivante :



Si $\omega < \gamma$ la concavité des courbes seront échangées et si $\omega = \gamma$ on aura des droites, λ_n^+ et λ_n^- devenant des fonctions linéaires de λ_{n-1} .

Il se peut que la valeur adoptée pour λ_n soit moindre ou égale à celle de λ_{n-1} ; cela aura lieu si

$$\lambda_{n-1} \geq \frac{(1-\gamma)\theta_0}{\omega-\gamma} = \psi \quad \text{si } \omega > \gamma$$

ou

$$\lambda_{n-1} \geq \frac{\gamma\theta_1}{\gamma-\omega} = \psi' \quad \text{si } \omega < \gamma$$

et évidemment, si

$$\theta_0 \leq \psi \leq 1 \quad \text{ou} \quad \theta_1 \leq \psi' \leq 1$$

étant donné que

$$\left(\frac{d\lambda_n^+}{d\lambda_{n-1}} \right)_{\lambda_{n-1}=0} = 1 - \theta_1 \geq 0 \quad \text{et} \quad \left(\frac{d\lambda_n^-}{d\lambda_{n-1}} \right)_{\lambda_{n-1}=0} = 1 - \theta_0 \geq 0$$

Dans ces conditions, chaque réponse incorrecte (si $\omega > \gamma$) ou correcte (si $\omega < \gamma$) fera baisser la probabilité de changement d'état.

Il est intéressant d'observer l'évolution de la probabilité a priori de réponse correcte, calculée d'après les probabilités des événements possibles pendant un essai ; soit donc

$$\psi_{k-1} = P(a_{k-1} = a^1)$$

Nous avons vu que

$$\Psi_{n-1} = \omega \lambda_{n-1} + \gamma(1 - \lambda_{n-1}) \quad (1)$$

et d'après l'arbre des événements on peut voir que

$$\Psi_n = \omega \lambda_{n-1} + (1 - \lambda_{n-1}) \{ \gamma [\omega \theta_1 + \gamma(1 - \theta_1)] + (1 - \gamma) [\omega \theta_0 + \gamma(1 - \theta_0)] \}$$

En appelant K l'expression entre accolades nous aurons

$$\Psi_n = \omega \lambda_{n-1} + K(1 - \lambda_{n-1}) \quad (2)$$

où K joue, dans le processus itératif, le rôle qui appartient à γ au début ; on est donc amené à croire que

$$\Psi_n \rightarrow \omega \text{ quand } n \rightarrow \infty$$

ce qui est vraiment le cas ; pour le démontrer il suffit d'éliminer λ_{n-1} entre (1) et (2) et de résoudre l'équation aux différences qui en résulte :

$$\Psi_n = \frac{\omega - K}{\omega - \gamma} \Psi_{n-1} + \frac{K - \gamma}{\omega - \gamma} \omega$$

La solution est, en rappelant que $\Psi_0 = \gamma$:

$$\Psi_n = \omega - (\omega - \gamma) \left(\frac{\omega - K}{\omega - \gamma} \right)^n$$

K étant une moyenne pondérée par γ et $1 - \gamma$, des moyennes de ω et γ pondérées par θ_0 et θ_1 , on aura

$$\omega \leq K \leq \gamma \quad \text{si} \quad \omega \leq \gamma$$

$$\omega \geq K \geq \gamma \quad \text{si} \quad \omega \geq \gamma$$

donc

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Psi_n = \omega$$

- l'étude markovienne (13) : les axiomes du modèle nous montrent son caractère markovien ; les paramètres étant constants, le processus est une chaîne de Markov homogène.

De l'arbre des événements on peut aisément sortir les probabilités de transition :

$$P(z_n = z^1 | z_{n-1} = z^1) = 1$$

$$P(z_n = z^0 | z_{n-1} = z^1) = 0$$

$$P(z_n = z^1 | z_{n-1} = z^0) = \gamma\theta_1 + (1 - \gamma)\theta_0$$

$$P(z_n = z^0 | z_{n-1} = z^0) = 1 - [\gamma\theta_1 + (1 - \gamma)\theta_0]$$

Avec

$$\gamma\theta_1 + (1 - \gamma)\theta_0 = \sigma$$

nous aurons donc, pour $\sigma > 0$,

$$P = \begin{bmatrix} 1 - \sigma & \sigma \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} z^0 \\ z^1 \\ z^0 \\ z^1 \end{matrix}$$

La chaîne est donc absorbante et le processus sera toujours dans l'état z^1 d'après un nombre suffisant d'essais.

Si le processus débute dans z^0 ,

$$\Lambda_k^1 = \Lambda_0^1 P^k = ((1 - \sigma)^k, 1 - (1 - \sigma)^k)$$

où

$$\Lambda'_0 = (1, 0), \quad \text{et } \Lambda'_k$$

est le vecteur des probabilités absolues des états dans un essai quelconque.

La loi du délai de changement d'état peut être déterminée d'après la considération qu'un délai de $k-1$ itérations sans changement aura une probabilité égale à

$$(1 - \sigma)^{k-1}$$

La probabilité de changement dans une itération quelconque étant σ nous aurons pour la k ème itération :

$$p_k = \sigma(1 - \sigma)^{k-1}$$

La loi est donc géométrique ; la moyenne et la variance sont, respectivement

$$E(k) = \frac{1}{\sigma} \quad \text{et } \text{Var}(k) = \frac{1 - \sigma}{\sigma^2}$$

On remarque que σ , paramètre composé, est la seule variable faisant partie de l'étude markovienne : elle n'est pas capable de considérer séparément les rôles joués par θ_0 et θ_1 , dont l'influence relève des probabilités conditionnelles ; d'où l'importance de l'étude précédente.

Nous pouvons aussi obtenir les probabilités absolues de réponse correcte à l'aide du vecteur Λ'_k ; en effet,

$$\Psi_k = \omega P(z_k = z^1) + \gamma P(z_k = z^0)$$

donc

$$\Psi_k = \omega - (\omega - \gamma) (1 - \sigma)^k$$

mais on peut vérifier que, dans l'expression auparavant trouvée pour Ψ_k :

$$\frac{\omega - K}{\omega - \gamma} = 1 - \sigma$$

donc on confirme le résultat déjà obtenu.

En ce qui concerne σ il convient d'observer que :

- dans un échantillon suffisamment grand d'essais, pris dans l'état z^0 , θ_1 est prise en compte par une fraction γ de l'échantillon (celle des réponses correctes) tandis que θ_0 est prise en compte par une fraction $1 - \gamma$; donc σ est une moyenne pondérée de ces influences.

Il convient d'assurer une homogénéité de traitement, par le modèle, des problèmes de caractéristiques diverses, en ce qui concerne la proportion entre exploration générale et recherche du stimulus concerné à un moment quelconque ; cela peut être fait en équilibrant les deux tendances, donc en faisant :

$$\theta_1 \gamma = \theta_0 (1 - \gamma) = \frac{\sigma}{2}$$

Nous reviendrons à ce problème au cours de l'étude de la performance du modèle dans les méthodes.

On remarque aussi que $\sigma = 0$ est équivalent à $\theta_0 = \theta_1 = 0$; donc il n'y aura pas de transition d'état possible, les deux étant absorbants ce qui entraîne une certitude sur z_n pourvu que l'état initial soit connu ; il n'y a plus de processus aléatoire.

Etude des méthodes

Voyons tout d'abord quelques définitions nécessaires.

La morphologie, notée \mathcal{M} , est un ensemble ordonné dont les r éléments sont aussi des ensembles :

$$\mathcal{M} = \{F^i \mid F^i = \{\varphi_1^i, \dots, \varphi_{n_i}^i\}\} \quad (i=1, \dots, r, n_i > 1 \quad \forall i)$$

Les F^i sont, comme nous avons déjà vu, appelés formateurs et les φ_j^i homologues des formateurs.

On effectue le produit direct

$$\mathcal{P} = \prod_{k=1}^r F^k$$

\mathcal{P} est l'ensemble produit morphologique ; \mathcal{M} étant totalement ordonné d'après l'ordre dans lequel on effectue le produit, les éléments de \mathcal{P} seront donc des r -uplets ordonnés (soient des vecteurs)

$$a = (a_1, \dots, a_n)$$

où

$$a_i = \varphi_{k_i}^i, \quad 1 \leq k_i \leq n_i \quad \forall i$$

Ces r -uplets sont appelés r -assemblages, solutions ou points.

Considérons maintenant une relation d'ordre total sur chaque formateur F^i :

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_{k_i}^i < \varphi_{k'_i}^i \iff k_i < k'_i \\ \varphi_{k_i}^i = \varphi_{k'_i}^i \iff k_i = k'_i \end{array} \right\} \quad \forall k_i, k'_i = 1, \dots, n_i, \forall i = 1, \dots, r$$

Alors nous pouvons définir une relation de domination sur \mathcal{P} ; nous dirons que

$$(a_1, \dots, a_r) \prec (b_1, \dots, b_r)$$

si, en ayant

$$a_i = \varphi_{k_i}^i \quad \text{et} \quad b_i = \varphi_{k'_i}^i, \quad k_i \leq k'_i$$

il est possible de trouver au moins un k tel que

$$a_k \prec b_k \quad (1 \leq k \leq r)$$

Donc nous pourrions dire que

$$\forall a, b \in \mathcal{P} : \exists S \leq \sigma, \quad \sigma_i = \varphi_{n_i}^i \quad (i = 1, \dots, r)$$

tel que

$$S = \sup(a, b)$$

$$\text{et} \quad \exists S' \geq \sigma', \quad \sigma'_i = \varphi_1^i \quad (i = 1, \dots, r)$$

tel que

$$S' = \inf(a, b)$$

Alors \mathcal{P} possède une structure de treillis ; en particulier il s'agit d'un treillis vectoriel puisque \mathcal{P} est un produit d'ensembles.

Nous avons encore besoin de définir une distance entre deux éléments a et b quelconques de \mathcal{P} ; cette distance (distance de Hamming généralisée) est définie :

$$\forall a, b \in \mathcal{P}, \quad a_i = \varphi_{k_i}^i, \quad b_i = \varphi_{k'_i}^i \quad (i=1, \dots, r ; 1 \leq k_i \leq n_i ; 1 \leq k'_i \leq n_i)$$

$$\Rightarrow d(a, b) = \sum_{i=1}^r |k_i - k'_i|$$

La démonstration que nous venons d'établir, à savoir que \mathcal{P} est un treillis vectoriel, a surtout un caractère informatif ; en effet les propriétés de \mathcal{P} qui nous intéressent relèvent plutôt du fait qu'il est un produit direct d'ensembles ; il est pourtant commode de parler de \mathcal{P} et de certaines de ses parties, et aussi de quelques autres ensembles gardant une relation avec \mathcal{P} , comme étant des treillis.

Partitions utilisées dans l'étude markovienne

Les méthodes aléatoires de recherche morphologique sont des processus de Markov ; en effet, chaque point tiré au hasard ne dépend, au plus, que du point précédent ; d'autre part les paramètres des méthodes sont des constantes par rapport à l'ordre des essais ; alors si on prend le soin de considérer comme valable la répétition des points tirés, on aura affaire à des chaînes de Markov homogènes.

L'étude la plus précise des méthodes serait alors celle où chaque point de \mathcal{P} fût associé à un état de la chaîne.

On obtiendrait pourtant des matrices pas trop grandes, même avec des morphologies assez simples ; il faut donc faire des partitions convenablement définies, et en associer chaque élément à un état.

Nous avons utilisé deux partitions :

- la partition par niveaux, dont nous avons donné un aperçu lors de la description des méthodes d'énumération.

Les éléments de cette partition sont appelés niveaux et la propriété définissant la partition est aussi appelée niveau.

Le niveau (propriété) est une fonction définie comme suit :

$$\forall a \in \mathcal{P}, a_i = \begin{pmatrix} i \\ k_i \end{pmatrix} \implies v(a) = \left(\sum_{i=1}^r k_i \right) - r$$

donc les niveaux (sous-ensembles éléments de la partition) seront ainsi définis :

$$N_k = \{a \in \mathcal{P} \mid v(a) = k\}$$

Il y a bien une partition puisqu'il est possible de trouver le niveau de tous les points de \mathcal{P} et chaque point n'a qu'un seul niveau.

On le notera

$$A = \{N_0, \dots, N_\tau\}$$

où on a appelé τ la valeur maximale de la fonction .

Il est nécessaire de dénombrer les éléments des niveaux pour pouvoir calculer les probabilités de transition. Pour cela, comme ils sont caractérisés par des sommes des indices des r -assemblages, il faut savoir de combien de façons on peut disposer ces indices, chacun d'eux ayant une borne supérieure différente et aucun d'eux ne pouvant être plus petit que 1, de telle façon que la somme soit constante.

Or, ce problème est le même que celui de la répartition de k objets indistincts par r cases distinctes et non ordonnées, de capacité limitée, sans laisser aucune case vide ; le dénombreur correspondant (11, 17) est

$$D(x) = (x + x^2 + \dots + x^{n_1})(x + x^2 + \dots + x^{n_2}) \dots (x + x^2 + \dots + x^{n_r})$$

soit plus exactement

$$D(x) = \prod_{i=1}^r \left(\sum_{j=1}^{n_i} x^j \right)$$

On obtiendra les masses totales μ_k des niveaux ; il convient de remarquer que l'issue du dénombreur est symétrique, donc :

$$\mu_k = \mu_{\tau-k}$$

Le nombre d'éléments par niveau va en croissant jusqu'à $\lfloor \frac{\tau}{2} \rfloor$; si τ est pair il y aura qu'un seul niveau central, $\lfloor \frac{\tau}{2} \rfloor$; si τ est impair il y en aura deux, $\lfloor \frac{\tau-1}{2} \rfloor$ et $\lfloor \frac{\tau+1}{2} \rfloor$, à masses égales.

Cette partition ne donne qu'un nombre raisonnablement limité d'états, même dans les cas des morphologies assez grandes ; par contre ses possibilités d'étude algébrique sont limitées.

- la partition par projections, dont les éléments sont définis par la fixation de sous-assemblages.

Ses éléments sont donc des projections de \mathcal{P} sur des hyperplans, ce sont aussi des treillis.

Soit une morphologie \mathcal{M} ; on peut en prendre une sous-morphologie

$$\mathcal{M}_s = \{F^a, F^b, \dots, F^l\} \quad (a \neq b \neq \dots \neq l)$$

avec un total de r' formateurs, $r' < r$.

L'ordre des formateurs dans \mathcal{M}_s sera le même que celui des formateurs de \mathcal{M} dans \mathcal{M} .

On peut effectuer le produit :

$$\mathcal{P}_s = \prod_{F^i \in \mathcal{M}_s} F^i$$

Les éléments de \mathcal{P}_S seront de la forme $S = (\varphi_{k_a}^a, \varphi_{k_b}^b, \dots, \varphi_{k_\ell}^\ell)$;

ce seront des sous-assemblages.

Si on prend un formateur F^j quelconque n'appartenant pas à \mathcal{M}_S et si l'on ajoute successivement ses homologues à S , dans la position donnée par l'ordre de \mathcal{M} , on aura n_j vecteurs possibles, de la forme

$$(S, \varphi_{k_j}^j) \quad (S \leq k_j \leq n_j)$$

Chacun de ces vecteurs peut être uni à chacun des n_m éléments d'un autre formateur $F^m \notin \mathcal{M}_S$, dans les mêmes conditions, produisant $n_j n_m$ vecteurs différents, et ainsi de suite jusqu'au moment où on obtient un ensemble S de vecteurs de r composantes dont r' constantes et $r - r'$ variables ; soit $S_{(r-r')}$ cet ensemble, alors :

$$|S_{(r-r')}| = \prod_{F^i \in \mathcal{M}_S} n_i$$

d'où

$$|\mathcal{P}_S| |S_{(r-r')}| = \left(\prod_{F^i \in \mathcal{M}_S} n_i \right) \left(\prod_{F^i \in \mathcal{M}_S} n_i \right) = \prod_{F^i \in \mathcal{M}} n_i = |\mathcal{P}|$$

Donc, chaque sous-morphologie \mathcal{M}_S définit une partition sur \mathcal{P} .
Nous allons appeler cette partition

$$\mathcal{J} = \{s_1, \dots, s_u\} \quad \text{où} \quad u = |\mathcal{P}_S|$$

(On ne doit pas confondre la partition \mathcal{J} avec l'ensemble S des stimuli, considéré lors de la présentation du modèle ; en effet celui-là peut être composé d'éléments de diverses partitions ; par exemple de sous-assemblages de deux, trois, ..., etc homologues).

Cette partition est elle-même un treillis.

La distance entre deux points quelconques, $a_{(k)}$, $b_{(k)}$ de S_k dépendra seulement des composantes variables ; si

$$\forall F^i \in \overline{\mathcal{M}_S}, F^i = \{\varphi_{\ell_i}^i \mid 1 \leq \ell_i \leq n_i\}$$

alors

$$d(a_{(k)}, b_{(k)}) = \sum_{F^i \in \overline{\mathcal{M}_S}} |\ell_i - \ell'_i|$$

Il est utile de définir une distance sur \mathcal{P} , entre une projection S_k quelconque et un élément quelconque de \mathcal{P} ,

$$\Phi = (\varphi_{m_1}^1, \dots, \varphi_{m_r}^r)$$

$$d(\Phi, S_k) = \sum_{F^i \in \overline{\mathcal{M}_S}} |m_i - k_i|$$

Si $\Phi \in S_k$, on aura naturellement $d(\Phi, S_k) = 0$.

De la même façon on pourra définir une distance sur \mathcal{J} , entre deux projections S_ℓ et S_k quelconques :

$$d(S_\ell, S_k) = \sum_{F^i \in \overline{\mathcal{M}_S}} |\ell_i - k_i|$$

Cette partition est beaucoup plus attractive du point de vue de l'étude algébrique, ce qui équilibre en grande partie le fait qu'elle donne naissance, dans beaucoup de cas, à des matrices plus grandes que celles obtenues d'après la partition en niveaux.

Les propriétés de l'ensemble produit, nécessaires à l'étude, seront déduites au fur et à mesure des besoins, pendant l'étude markovienne elle-même.

Etude par niveaux

Dans la randomisation libre un point a_n ne dépend pas, en principe, de a_{n-1} , tous les éléments de \mathcal{D} ayant la même probabilité de sortie dans un tirage quelconque. Donc la probabilité d'appartenance d'un point à un niveau \mathcal{N}_k quelconque sera :

$$P(a \in \mathcal{N}_k) = p_k = \frac{\mu_k}{\mu} \quad \forall k : 0 \leq k \leq \tau \quad ; \quad \mu = |\mathcal{D}|$$

La matrice des probabilités de transition des niveaux sera donc

$$P = \begin{bmatrix} p_0 & p_1 & \dots & p_\tau \\ p_0 & p_1 & \dots & p_\tau \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_0 & p_1 & \dots & p_\tau \end{bmatrix}$$

Le traitement de la chaîne de Markov est trivial ; on aura par exemple :

- le délai moyen de premier passage dans \mathcal{N}_k est le même, quel que soit le niveau de départ ; la matrice M de ce temps est

$$M = ED \quad \text{(voir Appendice I)}$$

Le vecteur stationnaire α étant égal à chaque ligne de P, on aura pour le délai moyen :

$$\bar{t}_k = \frac{1}{p_k}$$

- les variances des délais moyens sont données par

$$M_2 = E(D^2) - D$$

donc

$$\text{Var} (t_k) = \frac{1 - p_k}{p_k^2}$$

- si $\bar{y}_k^{(n)}$ est le nombre de passages dans le niveau k jusqu'à l'essai n, les variances limites de $\bar{y}_k^{(n)}/\sqrt{n}$ seront données par

$$\beta = (\alpha_k(1 - \alpha_k)) \quad , \quad k = 0, \dots, \tau$$

donc

$$\beta = (p_k(1 - p_k)) \quad , \quad k = 0, \dots, \tau$$

D'après le théorème central limite pour les chaînes de Markov (18), la distribution de

$$\frac{\bar{y}_k^{(n)} - n\alpha_k}{\sqrt{n\beta_k}}$$

tend vers la normale, quand n tend vers l'infini ; alors on peut connaître la probabilité d'une déviation donnée pour un nombre de passages assez grand.

Pour la méthode adaptative on étudiera plutôt les niveaux de la projection utilisée comme stimulus ; pour cela il faut les situer par rapport à ceux de \mathcal{P} .

Chaque projection étant caractérisée par un certain nombre de composantes, le premier niveau de \mathcal{P} qui contient un point appartenant à une projection donnée S contenant r' composantes constantes, aura pour la fonction niveau la valeur

$$v' = \left(\sum_{F_i \in \mathcal{N}_S} k_i \right) - r'$$

et le niveau de \mathcal{P} le plus élevé qui contient encore un point de la projection, aura pour la même fonction la valeur

$$v'' = \left(F^i \sum_{k \in \mathcal{N}_S} k_i + F^i \sum_{k \in \tilde{\mathcal{N}}_S} n_i \right) - r$$

Si la réponse du modèle est a^1 , on obtiendra un point de S avec probabilité 1, donc on sera restreint à S ; si $\mathcal{N}_j^{(s)}$ est le niveau de S contenu dans le $j^{\text{ième}}$ niveau de \mathcal{P} et si on prend

$$\mu' = |S|, \quad \mu_j' = |\mathcal{N}_j^{(s)}|$$

alors la probabilité pour que cette réponse donne un point appartenant à $\mathcal{N}_j^{(s)}$ sera

$$P(a \in \mathcal{N}_j^{(s)} | a_k = a^1) = \frac{\mu_j'}{\mu'} \quad \text{si } v' \leq v_j \leq v'' ; 0 \text{ autrement}$$

Si la réponse est a^2 , tous les points de \mathcal{P} sont équiprobables ; un point appartiendra à $\mathcal{N}_j^{(s)}$ avec probabilité

$$P(a \in \mathcal{N}_j^{(s)} | a_k = a^2) = \frac{\mu_j'}{\mu}$$

soit la proportion des points de $\mathcal{N}_j^{(s)}$ dans \mathcal{P} .

Alors la probabilité pour qu'un point tiré par la méthode adaptative appartienne à $\mathcal{N}_j^{(s)}$ sera

$$\hat{p}_j = P(a \in \mathcal{N}_j^{(s)} \cap a_k = a^1) + P(a \in \mathcal{N}_j^{(s)} \cap a_k = a^2) = \mu_j' \left(\frac{1 - \Psi_k}{\mu} + \frac{\Psi_k}{\mu'} \right)$$

si $v' \leq v_j \leq v''$; autrement,

$$\hat{p}_j = 0$$

La probabilité complémentaire de la somme des \hat{p}_j correspondra à la non-appartenance à S :

$$P(a \notin S) = 1 - \sum_{v'}^{v''} \hat{p}_j = (1 - \psi_k) \left(1 - \frac{\mu'}{\mu}\right)$$

et la matrice sera donc :

$$P_s = \begin{bmatrix} (1 - \psi_k) \left(1 - \frac{\mu'}{\mu}\right) & \hat{p}_{v'} & \hat{p}_{v'+1} & \dots & \hat{p}_{v''} \\ \hline \hline \hline \end{bmatrix}$$

Pour continuer l'étude il faudra que l'on considère le processus, soit dans z^0 , soit dans z^1 (donc $\psi_k = \gamma$ ou $\psi_k = \omega$) étant donné que la chaîne n'est pas homogène.

On écrira donc, en général

$$\psi_k = \psi$$

Le vecteur stationnaire sera toujours égal aux lignes de P ; la valeur espérée et la variance du délai de passage dans un niveau quelconque N_j seront toujours

$$\bar{t}_j = \frac{1}{\hat{p}_j}, \quad \text{Var}(t_j) = \frac{1 - \hat{p}_j}{\hat{p}_j^2}$$

On peut remarquer que pour la méthode non-adaptative on a une probabilité de sortie d'un point de S, égale à celle qui correspond à la réponse incorrecte ; donc

$$\frac{\hat{p}_j}{p_j} = 1 + \frac{(\mu - 1)\psi}{\mu'}$$

or, μ/μ' est toujours plus grand que 2 (le cas le plus défavorable, où il ne reste dans \mathcal{M}_s qu'un seul formateur à deux homologues) et il sera beaucoup plus grand dans la plupart des cas.

On peut estimer le nombre moyen de passages par un état quelconque, dans un total de n essais, par l'expression

$$\lim_{n \rightarrow \infty} M_1 \left[\frac{\bar{y}_j^{(n)}}{y_j} \right] - \alpha_j = z_{ij} - \alpha_j$$

où Z est la matrice fondamentale,

$$Z = (I - P + A)^{-1}, \quad A = [\alpha, \alpha, \dots, \alpha]$$

Pour n fini, on peut faire

$$M_i \left[\frac{\bar{y}_j^{(n)}}{y_j} \right] \approx (n - 1) \alpha_j + z_{ij}$$

Dans le cas en question

$$P = A$$

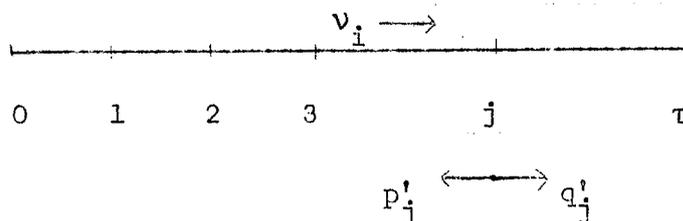
donc

$$Z = I$$

alors

$$M_i \left[\frac{\bar{y}_j^{(n)}}{y_j} \right] \approx (n - 1) \alpha_j + 1.$$

Le chemin aléatoire est réduit par l'étude par niveaux au cas unidimensionnel :



Selon la parité de τ il y aura deux cas distincts ; si τ est impair les deux niveaux égaux du centre fourniront

$$\frac{p'_{\tau-1}}{2} = \frac{q'_{\tau+1}}{2} = \frac{p_{\tau-1}}{2} \quad \text{et} \quad \frac{q'_{\tau-1}}{2} = \frac{p'_{\tau+1}}{2} = \frac{q_{\tau-1}}{2}$$

Si τ est pair le niveau central sera cerné par deux niveaux de masses égales ; alors

$$\frac{p_{\tau}}{2} = \frac{q_{\tau}}{2} = \frac{p'_{\tau}}{2} = \frac{q'_{\tau}}{2} = \frac{1}{2}$$

Le chemin peut aller d'un état j quelconque à un état k quelconque et vice-versa, pourvu qu'on lui permette un nombre suffisant d'essais ; mais il ne peut aller de

$$N_i \text{ à } N_{i+2\xi} \quad (\xi \in \mathbb{Z})$$

qu'à l'aide d'un nombre pair d'essais. La chaîne est donc ergodique cyclique de période 2, et on y peut distinguer deux classes d'équivalence formées par les niveaux :

$$\begin{aligned} & N_0, N_2, \dots, N_{2k} \\ & N_1, N_3, \dots, N_{2k+1} \end{aligned} \quad (2k+1 \leq \tau)$$

Le vecteur stationnaire peut être déterminé à l'aide du système

$$\alpha P = \alpha$$

avec la restriction

$$\sum_{i=0}^{\tau} \alpha_i = 1$$

En développant le système nous aurons

$$\alpha_1 p_1 = \alpha_0$$

$$\alpha_0 + \alpha_2 p_2 = \alpha_1$$

$$\alpha_{j-1} q_{j-1} + \alpha_{j+1} p_{j+1} = \alpha_j \quad (j = 2, \dots, \lambda_1 - 1)$$

$$\left(\alpha_{\frac{\tau}{2}-1} + \alpha_{\frac{\tau}{2}+1} \right) q_{\frac{\tau}{2}-1} = \alpha_{\frac{\tau}{2}} \quad (\text{si } \tau \text{ est pair})$$

$$\alpha_{j-1} p_{\tau-j+1} + \alpha_{j+1} q_{\tau-j-1} = \alpha_j \quad (j = \lambda_2, \dots, \tau - 2)$$

$$\alpha_\tau + \alpha_{\tau-2} p_2 = \alpha_{\tau-1}$$

$$\alpha_{\tau-1} p_1 = \alpha_\tau$$

où

$$\lambda_1 = \frac{\tau}{2}, \lambda_2 = \frac{\tau}{2} + 1 \quad \text{si } \tau \text{ est pair}$$

$$\lambda_1 = \frac{\tau - 1}{2}, \lambda_2 = \frac{\tau + 1}{2} \quad \text{si } \tau \text{ est impair}$$

La répartition des masses des niveaux étant symétrique, il est indifférent de commencer par $\sqrt{0}$ ou $\sqrt{\tau}$, la matrice étant toujours la même, donc la répartition des valeurs des composante du vecteur α sera aussi symétrique.

$$\alpha_k = \alpha_{\tau-k} \quad (k = 0, 1, \dots, \tau)$$

et il suffira de calculer les $\frac{\tau}{2}$ ou $\frac{\tau+1}{2}$ premières valeurs, selon que τ soit pair ou impair.

On obtient

$$\alpha_1 = \frac{1}{p_1} \alpha_0, \alpha_2 = \frac{q_1}{p_1 p_2} \alpha_0, \dots, \alpha_k = \frac{q_0 q_1 \dots q_{k-1}}{p_1 p_2 \dots p_k} \alpha_0$$

En faisant la somme, on obtiendra α_0 :

$$\alpha_0 = \frac{\prod_{i=1}^{\tau/2} p_i}{\prod_{i=1}^{\tau/2-1} q_i + 2 \sum_{j=0}^{\tau/2-1} \left(\prod_{i=1}^{j-1} q_i \prod_{i=j+1}^{\tau/2} p_i \right)} \quad \text{si } \tau \text{ est pair}$$

ou

$$\alpha_0 = \frac{\prod_{i=1}^{\tau-1} p_i}{2 \sum_{j=0}^{\tau-1} \left(\prod_{i=1}^{j-1} q_i \prod_{i=j+1}^{\tau-1} p_i \right)} \quad \text{si } \tau \text{ est impair}$$

où on prend, formellement,

$$\prod_{i=a}^b c_i = 1 \quad \text{si } b < a$$

Le pas suivant serait la détermination de la matrice fondamentale,

$$Z = (I - P + A)^{-1}$$

malheureusement nous n'avons pas abouti à la généraliser, les difficultés d'ordre algébrique s'étant montrées insurmontables.

La détermination du vecteur stationnaire permet pourtant la détermination des caractéristiques du processus pour un problème donné.

Etude par projections

Nous allons considérer une projection

$$S_j \in \mathcal{J}$$

dont la masse totale des points est μ_j .

Pour la randomisation libre, la probabilité de sortie d'un point appartenant à S_j sera évidemment égale à μ_j/μ ; si on considère tous les éléments de \mathcal{J} comme étant des états du processus de Markov, on aura :

$$P = [\alpha, \alpha, \dots, \alpha]$$

où

$$\alpha = \left(\frac{\mu_j}{\mu}, \frac{\mu_j}{\mu}, \dots, \frac{\mu_j}{\mu} \right)$$

est le vecteur stationnaire ; puisque tous les éléments de \mathcal{J} ont la même masse totale, on peut l'appeler μ' .

Dans cette matrice on peut assembler les états constituant chaque élément d'une position quelconque de \mathcal{J} (18) ; la matrice est donc compactable par rapport à toute partition de \mathcal{J} ; soit $A^{(s)}$ une partition, alors on aura

$$A^{(s)} = \{A_1, \dots, A_v\}$$

et

$$\forall A_i, A_j \in A^{(s)}, p_{kAj} = \sum_{k \in A_j} p_{ik} \implies p_{kAj} = \hat{p} \quad \forall S_k \in A_i$$

Alors on peut toujours réduire l'étude à celle d'une matrice 2×2 , en isolant un état quelconque.

$$\hat{P} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{\mu'}{\mu} & \frac{\mu'}{\mu} \\ \frac{\mu'}{\mu} & 1 - \frac{\mu'}{\mu} \end{bmatrix}$$

Les caractéristiques du processus seront aisément calculables ; soient :

- le délai moyen de premier passage :

$$\bar{t}_1 = \frac{\mu}{\mu - \mu'}, \quad \bar{t}_2 = \frac{\mu}{\mu'}$$

- la variance de ce délai :

$$\text{Var}(t_1) = \frac{\mu\mu'}{(\mu - \mu')^2}, \quad \text{Var}(t_2) = \frac{\mu(\mu - \mu')}{(\mu')^2}$$

- les variances limites du nombre de passage, $\frac{-(n)}{y_k} / \sqrt{n}$:

$$\beta_1 = \beta_2 = \frac{\mu'}{\mu} \left(1 - \frac{\mu'}{\mu}\right)$$

dont on peut également sortir la probabilité d'une déviation quelconque du nombre espéré de passages.

Dans la méthode adaptative nous aurons intérêt à étudier aussi une projection isolée, celle qui serait considérée comme stimulus au moment concerné. Le modèle nous donnera un élément de cette projection :

- avec probabilité 1, si la réponse est a^1 ;
- avec probabilité $\frac{\mu'}{\mu}$, si la réponse est a^2 .

Soit

$$\Psi_k = P(a_k = a^1)$$

alors si

$$p = \frac{\mu^1}{\mu}, \quad q = 1 - \frac{\mu^1}{\mu}$$

$$\bar{P}_k = \begin{bmatrix} (1 - \Psi_k)q & p + \Psi_k q \\ (1 - \Psi_k)q & p + \Psi_k q \end{bmatrix}$$

Nous avons vu que

$$\Psi_k = \omega - (\omega - \gamma)(1 - \sigma)^k$$

donc le processus n'est plus homogène.

(Il est intéressant de remarquer que

$$\hat{P}_1 \hat{P}_2 \dots \hat{P}_n = \hat{P}_n$$

donc, pour un vecteur de départ π_0 quelconque,

$$\pi_k = \pi_0 \hat{P}_k$$

En considérant

$$\Psi_k = \Psi$$

on pourra obtenir aussi les grandeurs déjà calculées pour les autres processus.

Les paramètres du modèle

Pour le travail avec la méthode on aura besoin d'estimer les paramètres du modèle. Pour cela il convient de les exprimer en fonction des caractéristiques de la morphologie, et aussi des délais et proportions des deux réponses voulues ; ce sont des variables dont on peut très facilement saisir l'influence sur le comportement de la méthode adaptative.

On peut estimer σ d'après la probabilité de l'état z^0 après un nombre donné d'essais ; ce nombre peut être convenablement exprimé en fonction du nombre de sorties (listes de solutions) fournies par l'ordinateur, chaque sortie ayant un nombre déterminé de points (d'habitude de 5 à 12 points). On voudra alors limiter à un seuil donné (soit par exemple 0.1) la probabilité pour que la transition $z^0 \rightarrow z^1$ n'ait pas eu lieu après K sorties de ξ points.

On aura alors

$$(1 - \sigma)^{K\xi} \leq \epsilon$$

d'où

$$\sigma = 1 - \frac{1}{\xi^{K\xi}}$$

Nous avons imposé la restriction

$$\theta_1 \gamma = \theta_0 (1 - \gamma) = \frac{\sigma}{2}$$

donc il ne reste qu'à déterminer γ .

On l'obtiendra en spécifiant la proportion moyenne désirée, entre le nombre de points appartenant au complément du stimulus par rapport à \mathcal{P} et au stimulus lui-même.

Soit δ_0 cette proportion ; alors on peut utiliser l'expression approximative pour le nombre de passages dans un état quelconque :

$$M_i \left| \bar{y}_j^{(n)} \right| \approx (n-1) \alpha_j + z_{ij}$$

On voudra alors que le nombre des passages dans \bar{S}_j soit δ_0 fois celui des passages dans S_j :

$$(n-1)(1-\gamma)q+1 = \delta_0 |(n-1)(p+q\gamma)+1|$$

d'où

$$\gamma = \frac{(n-1)(q-\delta_0 p) - \delta_0}{(n-1)q(\delta_0+1)} \quad (1)$$

Si n est assez grand le deuxième terme du numérateur n'aura presque pas d'importance ; alors on pourra le rayer, ce qui fournit l'expression approximative

$$\gamma = \frac{q - \delta_0 p}{q(\delta_0+1)} \quad (2)$$

expression qui a l'avantage de ne pas dépendre de n ; donc on n'aura pas besoin de prévoir le nombre d'essais nécessaires.

En outre, on peut considérer

$$n = K\xi$$

c'est à dire, que l'on va utiliser le stimulus pendant le délai considéré pour l'estimation de σ ; alors on pourra utiliser (1) au lieu de (2).

De même, on pourra estimer ω , en considérant le processus dans z^1 et utilisant une proportion δ_1 de points, on aura :

$$\omega = \frac{(n-1)(q-\delta_1 p) - \delta_1}{(n-1) q (\delta_1 + 1)} \quad \text{ou} \quad \omega = \frac{q - \delta_1 p}{q(\delta_1 + 1)}$$

La valeur du seuil ϵ doit être choisie d'après les caractéristiques du problème : l'ordre de grandeur du stimulus, l'intérêt que l'on attend des solutions.

D'autre part, δ_0 et δ_1 doivent avoir une influence directe sur la stimulation apportée au groupe de recherche ; nous pensons qu'il s'agit là d'un problème relevant de la psychologie d'application de la méthode, des valeurs peu ou trop élevées pouvant ennuyer les chercheurs, soit par une attente trop longue des solutions attendues, soit par une suite de solutions semblables dans les aspects déjà caractérisés comme étant parmi les plus intéressants.

Le chemin aléatoire

L'ensemble des états du processus étant associé à une partition par projections, il y aura toujours une probabilité non nulle de permanence dans un état quelconque ; cela parce que \mathcal{H}_s est toujours une partie propre de \mathcal{H} , donc les projections contiendront toujours plus d'un point. La probabilité de permanence dans un état et celle des transitions possibles peuvent être estimées d'après le nombre moyen des chemins unitaires (soient des arêtes du diagramme de Hasse) sortant d'un point, et de la répartition de ces chemins entre l'intérieur et l'extérieur de la projection associée à cet état.

Or, la structure de toutes les projections d'une même partition est la même ; donc le nombre de liaisons unitaires internes entre tous les points d'une de ces projections est une caractéristique de la partition.

Par contre, comme \mathcal{P} est fini, le nombre de liaisons externes d'une projection dépend de sa position dans \mathcal{P} (il faut remarquer que, si \mathcal{P} est un treillis de Boole, ce nombre est aussi une constante).

Un ensemble produit peut être assimilé à un hyperpavé de d dimensions, avec des arêtes de longueur n_j ($F^j \in \mathcal{M}$) ; une projection est aussi un ensemble produit, où au moins un des facteurs est un singleton.

On aura donc, pour une projection :

$$d = r - r' \quad , \quad F^j \in \overline{\mathcal{M}}_s$$

puisque les facteurs correspondants aux formateurs de \mathcal{M}_s seront des singletons.

Sur une direction k quelconque on peut lier tous les points, n_k points à la fois, au moyen de

$$F^j \in \overline{\mathcal{M}}_s \quad \prod_{j=k} n_j$$

chemins de longueur $n_k - 1$; donc, en faisant la somme sur toutes les dimensions, on aura un total de

$$F^k \in \overline{\mathcal{M}}_s \quad \sum (n_k - 1) \prod_{j \neq k} n_j$$

liaisons ; il faudra multiplier par 2 puisque chaque arête peut être parcourue dans les deux sens ; alors on aura pour le nombre moyen de chemins unitaires internes, par point,

$$\bar{Q}' = \frac{2 \sum_{F^k \in \overline{\mathcal{M}}_s} (n_k - 1) \prod_{j \neq k} n_j}{\prod_{F^j \in \overline{\mathcal{M}}_s} n_j}$$

soit, en simplifiant,

$$\bar{\ell}' = 2(d - \sum_{F^k \in \mathcal{M}_s} \frac{1}{n_k})$$

En ce qui concerne le nombre des chemins externes il faut remarquer qu'ils ne peuvent être parcourus qu'à l'aide de changements unitaires des composantes définissant la projection ; donc il sera le même pour tous les points d'une même projection, soit S_k , et sa valeur sera

$$m_k = m(S_k) = \sum_{F^i \in \mathcal{M}_s} [I_i(k_i-1) + I_i(k_i+1)]$$

où

$$I_i(j) = \begin{cases} 1 & \text{si } \psi_j^i \in F^i \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

et les k_i seront les constantes qui définissent la partition.

La fonction \underline{m} a une très grande importance dans cette étude ; nous avons appelé la valeur m_k le coefficient de voisinage de la projection S_k .

Le nombre moyen des chemins unitaires partant d'un point $a \in S_k$ sera donc,

$$\bar{\ell}_k = \bar{\ell}' + m_k$$

S'il existe dans la sous-morphologie un formateur à deux homologues, il n'y aura qu'une possibilité de changement de la composante qui lui correspond, donc pour chaque formateur à deux éléments existant la valeur maximale de m_k (qui serait tout d'abord égale à $2r'$) sera réduite d'une unité.

Donc, si $n_{(2)}$ est le nombre de formateurs

$$F^i \in \mathcal{M}_s \quad \text{tels que } n_i = 2,$$

on aura

$$r' \leq m(S_k) \leq 2r' - n_{(2)} \quad \forall S_k \in \mathcal{P} \quad (1)$$

D'autre part, chaque k_i peut être égal, soit à 1, soit à n_i , soit à une valeur intermédiaire, s'il y en a ; alors $m(S_k)$ prendra aussi toutes les valeurs satisfaisant à (1), donc le nombre des valeurs différentes de la fonction $m(S_k)$ sera

$$n_m = r' - n_{(2)} + 1$$

Remarque : De l'expression de $\bar{\ell}'$ on peut obtenir le nombre total des chemins unitaires de \mathcal{P} ; il suffit de considérer la partition

$$\mathcal{P} = \{\mathcal{P}\}$$

qui nous donne

$$d = r, \mathcal{Y}_S = \phi, \bar{\mathcal{Y}}_S = \mathcal{X}$$

d'où

$$L_{\mathcal{P}} = 2 \prod_{i=1}^r n_i \left(r - \sum_{i=1}^r \frac{1}{n_i} \right)$$

Chaque chemin partant d'un point de S_k vers l'extérieur arrivera dans une projection différente puisqu'il correspondra à un changement particulier sur les k_i ($i = 1, \dots, r$) définissant S_k .

Donc la ligne correspondant à S_k , dans la matrice de Markov, aura $m_k + 1$ éléments non nuls : la probabilité p_{kk} de permanence dans S_k et m_k probabilités de passage aux projections adjacentes.

Puisque $\bar{\ell}'$ est constante les valeurs de $\bar{\ell}_k$ ne dépendant que des m_k , donc les probabilités de passage et de permanence correspondant aux projections de même m_k sont respectivement égales ; il convient donc de les noter

$$q(m_i) = p_{ii} = \frac{\bar{\ell}'}{\ell_i}$$

$$p(m_i) = p_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{\bar{\ell}_i} & \text{si } S_j \text{ est adjacente à } S_i \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

On voit que

$$q(m_i) + m_i p(m_i) = 1$$

Maintenant, par souci de brièveté, nous considérons comme base pour l'indice de $m(S_k)$ la partition de \mathcal{J} d'après les valeurs de la fonction m ; ainsi on aura n_m sous-ensembles de \mathcal{J} et dans chacun d'eux, m aura la même valeur pour toutes les projections.

Soit \mathcal{B} cette partition ; alors

$$\mathcal{B} = \{B_{r'}, B_{r'+1}, \dots, B_{2r'-n_{(2)}}\}$$

Le domaine de k sera donc l'ensemble des valeurs satisfaisant à (1), et on pourra écrire

$$k = m(B_k) = m_k$$

Les probabilités de transition étant les mêmes pour tous les éléments d'un B_k quelconque, on pourra aussi écrire :

$$p_k = p(B_k) \quad \text{et} \quad q_k = q(B_k)$$

et

$$q_k + kp_k = 1$$

En ordonnant les projections d'après l'ordre total lexicographique des éléments qui les définissent, soit les

$$k_i \mid F^i \in \mathcal{N}_s,$$

et si n_r est le cardinal du dernier formateur de \mathcal{N}_s , nous pourrions considérer des classes formées par des S_j , telles que dans chacune d'elles seulement l'indice correspondant à $F^{r'}$ change ; les sous-matrices de permanence dans ces classes setont de la forme :

$$C_{ii} = \begin{bmatrix} q_t & p_t & & & 0 \\ & p_{t+1} & q_{t+1} & p_{t+1} & \\ & \text{-----} & & & \\ & \text{-----} & & & \\ & & & & p_{t+1} & q_{t+1} & p_{t+1} \\ 0 & & & & & & p_t & q_t \end{bmatrix}$$

puisqu'il y aura un chemin unidimensionnel basé sur $F^{r'}$.

Il y aura aussi des probabilités de passage selon les autres dimensions ; on les retrouvera dans les sous-matrices C_{ij} , de la forme

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} p_s & & & 0 \\ & p_{s+1} & & \\ & & \text{-----} & \\ & & & p_{s+1} \\ 0 & & & & & p_s \end{bmatrix} \quad \text{ou } C_{ij} = 0$$

selon que les classes i et j soient ou non adjacentes.

Alors P aura l'aspect suivant :

$$P = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1k} & \dots & \dots \\ c_{21} & c_{22} & \dots & & c_{2j+1} & \dots & c_{2k+1} & \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots & c_{v-1,m-1} & \dots & c_{v-1,\ell-1} & \dots & c_{v-1,v-1} & c_{v-1,v} & \dots \\ \dots & \dots & c_{v,m} & \dots & c_{v,\ell} & \dots & c_{v,v-1} & c_{vv} & \dots \end{bmatrix}$$

La recherche du vecteur stationnaire nous amène à examiner la construction des colonnes de P ; on y voit que les valeurs des probabilités non nulles de transition sont distribuées selon les valeurs des coefficients de voisinage correspondant aux projections voisines de celle considérée.

Soit B_j le sous-ensemble des projections de coefficient de voisinage j : un $S_i^{(j)} \in B_j$ possède alors un ensemble de voisins $V_i^{(j)}$ avec j éléments.

D'après les valeurs des coefficients pour les éléments de $V_i^{(j)}$, on peut le partitionner selon une partition $A_j^{(j)}$; dans le cas général d'un $V_k^{(j)}$ quelconque on trouvera beaucoup de partitions applicables, leur validité dépendant de la position de $S_k^{(j)}$; on aura alors des partitions

$$A_a^{(j)}, A_b^{(j)}, \dots, A_\ell^{(j)}$$

Puisque les coefficients de voisinage des projections voisines à une $S_i^{(j)}$ donnée ne peuvent être qu'égaux ou consécutifs par rapport à celui

de $S_i^{(j)}$ (par la définition même de la fonction m) chaque partition de $V_i^{(j)}$ n'aura que trois éléments au plus, soit au plus

$$A_a^{(j)} = \{V_i^{(j-1)}, V_i^{(j)}, V_i^{(j+1)}\}$$

Chacune de ces partitions détermine une composition possible, qui peut être retrouvée dans une ou plusieurs colonnes de la matrice, parmi celles correspondant aux projections dont le coefficient est m_j ; or, une fois que l'on a défini la sous-morphologie \mathcal{M}_S , tous les coefficients de voisinage sont déterminés, et déterminent alors, à eux seuls, la configuration de la matrice.

Chaque élément d'une partition $A_a^{(j)}$ contient un nombre de projections de même coefficient de voisinage ; $A_a^{(j)}$ caractérise donc une distribution de valeurs de ce coefficient parmi les voisins de $S_i^{(j)}$. Appelons donc $\rho(A_a^{(j)})$ cette distribution.

D'autre part, dans une expression résultant du produit αP (soit dans une composante de α) on ne peut trouver que des probabilités et des composantes de α correspondant à la projection considérée dans l'expression et à ses voisines, les probabilités de transition vers les projections non-voisines étant nulles.

En prenant l'hypothèse d'égalité pour les $\alpha_i^{(j)}$ correspondant aux $S_i^{(j)}$ de même distribution, on aura pour un élément du produit αP (soit une composante de α) :

- la composition de toutes les colonnes concernées sera la même, car elle dépend de la distribution des valeurs de m dans $A_a^{(j)}$;

- tous les produits seront de la forme

$$\alpha_k P_k \quad \text{où} \quad k = m_k$$

Donc les valeurs de ces expressions seront les mêmes, c'est à dire que l'hypothèse d'égalité est confirmée.

Le problème le plus difficile est la détermination du nombre des différentes distributions qui peuvent se vérifier pour un $v_i^{(j)}$ quelconque ; nous n'avons pas abouti à le solutionner mais on verra que le manque de cette donnée n'est pas nuisible à la détermination du vecteur α .

Tout d'abord nous allons rechercher une forme générale pour les équations du système

$$\alpha P = \alpha$$

Soient $\alpha_1^{(j)}, \alpha_2^{(j)}, \dots$, les valeurs communes des composantes de α correspondantes aux projections de distribution $\rho(A_1^{(j)}), \rho(A_2^{(j)}), \dots$; soit qu'il existe $d_1^{(j)}, d_2^{(j)}, \dots$, composantes égales, pour lesquelles les distributions $\rho(A_1^{(j)}), \rho(A_2^{(j)})$ sont valables.

Soient enfin l_j, l_{j-1}, l_{j+1} les nombres de différentes distributions vérifiées pour les voisins des éléments de B_j, B_{j-1} et B_{j+1} ; on aura dans tous les cas, $\rho(A_1^{(j)})$ étant la distribution correspondante à la projection concernée :

$$\alpha_1^{(j)} q_j + \left(\sum_{i=1}^{l_j} d_i^{(j)} \alpha_i^{(j)} \right) P_j + \left(\sum_{i=1}^{l_{j-1}} d_i^{(j-1)} \alpha_i^{(j-1)} \right) P_{j-1} + \left(\sum_{i=1}^{l_{j+1}} d_i^{(j+1)} \alpha_i^{(j+1)} \right) P_{j+1} = \alpha_1^{(j)}$$

où on doit avoir :

$$\sum_{i=1}^{l_j} d_i^{(j)} + \sum_{i=1}^{l_{j-1}} d_i^{(j-1)} + \sum_{i=1}^{l_{j+1}} d_i^{(j+1)} = m_j$$

les trois sommes correspondant aux trois éléments dont toutes les partitions des $V_i^{(j)}$ sont composées.

D'après

$$q_k + k p_k = 1$$

on aura

$$\begin{aligned} \left(\sum_{i=2}^{\ell_j} d_i^{(j)} \alpha_i^{(j)} \right) p_j + \left(\sum_{i=1}^{\ell_{j-1}} d_i^{(j-1)} \alpha_i^{(j-1)} \right) p_{j-1} + \left(\sum_{i=1}^{\ell_{j+1}} d_i^{(j+1)} \alpha_i^{(j+1)} \right) p_{j+1} \\ = (m_j - d_1^{(j)}) \alpha_1^{(j)} p_j \end{aligned}$$

mais on a toujours

$$\sum_{i=2}^{\ell_j} d_i^{(j)} + \sum_{i=1}^{\ell_{j-1}} d_i^{(j-1)} + \sum_{i=1}^{\ell_{j+1}} d_i^{(j+1)} = m_j - d_1^{(j)} \quad (1)$$

En prenant l'hypothèse d'égalité pour tous les termes de la forme

$$\alpha_k^{(\ell)} p_\ell = a \quad \forall k, \forall \ell \quad (2)$$

nous aurons (1) ; il s'agit donc d'une condition suffisante.

Mais le vecteur α est unique ; donc il s'agit aussi d'une condition nécessaire.

Cela nous donne immédiatement

$$\alpha_i^{(j)} = \alpha_j, \quad \alpha_i^{(j-1)} = \alpha_{j-1}, \quad \alpha_i^{(j+1)} = \alpha_{j+1} \quad \forall i$$

s'ils existent.

On peut toujours trouver un $V_l^{(j+a)}$ dont l'intersection avec un $V_i^{(j)}$ n'est pas vide ; cela permet d'étendre (2) à toutes les projections définies par une sous-morphologie donnée.

L'expression (2) nous montre que les valeurs des α_j ne dépendent que des p_j , donc des m_j ; on doit de ce fait avoir n_m valeurs différentes pour les composantes de α .

A l'aide de (2) on peut déterminer α ; il faut considérer tout d'abord le nombre N_j de fois qu'une valeur α_j est trouvée dans α ; on aura

$$\sum_{B_j \in S} N_j \alpha_j = 1 \quad \text{où} \quad N_j = |B_j|$$

Il convient d'exprimer tous les α_k en fonction d'un seul, soit par exemple $\alpha_{r'}$, celui qui correspond à la valeur minimale du coefficient de voisinage.

Alors nous aurons

$$\alpha_{r'+1} = \frac{p_{r'}}{p_{r'+1}} \alpha_{r'}, \quad \alpha_{r'+2} = \frac{p_{r'}}{p_{r'+2}} \alpha_{r'}, \quad \dots, \text{ etc ; donc}$$

$$\left(N_{r'} + N_{r'+1} \frac{p_{r'}}{p_{r'+1}} + N_{r'+2} \frac{p_{r'}}{p_{r'+2}} + \dots + N_{2r'-n(2)} \frac{p_{r'}}{p_{2r'-n(2)}} \right) \alpha_{r'} = 1$$

donc

$$\alpha_{r'} = \frac{\prod_{i \neq r'} p_i}{\sum_{i=r'}^{2r'-n(2)} \left(N_i \prod_{\substack{k=r' \\ k \neq i}} p_k \right)}$$

d'où on peut obtenir tous les α_j .

Il nous reste encore à déterminer les N_k ; pour cela il suffit de noter que l'ensemble des projections peut être associé à un hyperpavé, où les B_j déjà définis seront associés aux ensembles des points des sommets, des arêtes, des faces, etc ; avec exclusion des points auparavant énumérés ; c'est à dire, des k -hyperpavés où

$$k \leq r'$$

Or on a dans un r' -hyperpavé, un total de

$$C_{r'}^k 2^{r'-k}$$

k -hyperpavés ; toutes les coordonnées étant distinctes, on aura pour chaque combinaison possible d'elles

$$2^{r'-k}$$

k -hyperpavés égaux.

Pour trouver le nombre de projections correspondant à chaque $S^{(j)}$ il faudra donc sommer sur toutes les combinaisons possibles ; l'exclusion des projections déjà dénombrées entraîne que sur une direction contenant n_i d'elles, on n'aura que $n_i - 2$ non encore dénombrées.

Alors on aura pour le nombre de projections correspondantes à un valeur

$$m_k = r' + a$$

$$N_k = 2^{r'-a} \sum_{C_{r'}^k} \left(\prod_{F_j \in \mathcal{M}_s} (n_j - 2) \right)$$

ou, avec $a = m_k - r'$:

$$N_k = 2^{2r' - m_k} \sum_{C_{r'}^k} \left(\prod_{F^j \in \mathcal{X}_S} (n_j - 2) \right)$$

où on considère

$$\prod_{F^j \in \mathcal{X}_S} (n_j - 2) = 1 \quad \text{si } a = 0$$

Le chemin aléatoire adaptatif

Nous allons considérer une partition de \mathcal{F} en projections, définie par une sous-morphologie contenant r' formateurs ($r' = 2, \dots, r-1$) et un point de départ quelconque d'où on veut atteindre un élément S_j de la partition, considéré comme stimulus (ici, $1 \leq j \leq |\mathcal{F}|$).

Prenons un point a_0 qui ait $2r$ liaisons ; nous avons vu qu'il faut les classer d'après les possibilités d'approche par rapport à S_j :

- 1) il y aura r' liaisons sur lesquelles un pas unitaire diminuera la distance $d(a_0, S_j)$;
- 2) il y aura également r' liaisons opposées à celles de (1), capables d'augmenter $d(a_0, S_j)$;
- 3) enfin, il y aura $2(r - r') = 2d$ liaisons n'ayant pas d'influence sur $d(a_0, S_j)$.

En appliquant la stratégie de la méthode adaptative nous aurons alors pour un point extérieur à S_j :

- la réponse "correcte" a^1 correspondra à prendre une des directions (1) ;
- la réponse "incorrecte" a^2 correspondra à prendre une des directions (3) ;
- on ne prendra pas les directions (2).

Si le point a moins de $2r$ liaisons, celles qui manquent appartiendraient toujours aux classe (2) ou (3) parce que les (1) existent toujours, par définition ; seuls les parcours correspondant aux réponses incorrectes seront affectés, mais ils seront toujours internes par rapport à la projection où le chemin est arrivé après la dernière réponse correcte. Cela n'apporte donc aucun changement en ce qui concerne les rapports entre les projections.

La stratégie est maintenue pendant tout le chemin en dehors de S_j ; donc toute composante égale à une des constantes de S_j sera retenue et non modifiée jusqu'à l'arrivée.

Le point de départ étant extérieur à S_j il appartiendra à un S_i quelconque le chemin ne pourra donc traverser que les S_k pour lesquels on aura

$$d(a_o, S_k) + d(S_k, S_j) = d(a_o, S_j) \quad (1)$$

Si le chemin arrive à S_j , on passera à définir a^1 comme l'utilisation d'une des réponses de la classe (2) ; alors on s'intéressera surtout à a^2 qui correspondra à l'exploration de S_j . La réponse a^1 (sortie de S_j) ne perdra pas son importance : elle permettra d'éviter qu'on ait une certitude sur l'appartenance à S_j des points tirés, ce qui est, comme nous l'avons déjà déjà présenté, très important. D'autre part, cette sortie pourra empêcher la répétition des points dans une certaine mesure (rappelons que nous avons considéré la répétition comme permise, mais si on considère de façon différente, il faudra admettre aussi la possibilité d'arrivée à une impasse).

Si a^1 est donnée le chemin sortira de S_j ; alors on reprendra la stratégie initiale et par voie de conséquence les réponses de la classe (2) seront interdites, ce qui empêche le chemin de s'éloigner de S_j de plus d'une unité de distance.

Le processus se déroulera donc dans le sous-ensemble d'états associés à S_j et aux projections qui lui sont adjacentes. Une fois que le chemin y sera arrivé, il ne pourra plus en sortir ; c'est à dire qu'à ce sous-ensemble correspondra un ensemble ergodique d'états de la chaîne de Markov. Son étude peut donc être faite séparément.

Les états qui restent seront donc transitoires ; les probabilités de retour du chemin en eux étant nulles, la sous-matrice qui leur correspond sera triangulaire.

La réponse a^2 entraînant toujours l'exploration du S_j où se trouve le chemin, la probabilité d'exploration est celle de a^2 et ne dépendra plus de la position de S_i ; par contre la transition entre deux projections sera encore influencée par les données de la partition et par la position de S_i .

On aura alors, pour S_i et S_m tels que S_m satisfait à (1), et considérant la chaîne homogène (donc $\Psi_k = \Psi$):

$$P_{ii} = 1 - \Psi, \quad P_{im} = \begin{cases} \frac{\Psi}{r_i - \Psi_m} & \text{si } S_i, S_m \text{ adjacents} \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$$

où Ψ_m est le nombre de constantes de S_m égales à celles de S_j , et donc non passibles d'altération.

Les retours ne seront possibles qu'à partir de S_j , donc

$$P_{ji} = \frac{\Psi}{m_j} \quad \text{si } S_j, S_i \text{ adjacents} : 0 \text{ autrement}$$

En appelant T l'ensemble des états transitoires et R celui des états ergodiques la matrice des probabilités de transition sera alors de la forme suivante :

$$P = \begin{bmatrix} T & G \\ 0 & R \end{bmatrix}$$

la sous-matrice G contenant les probabilités de transition de $S_i \in T$ à $S_t \in R$.

L'ensemble des états transitoires

Tout d'abord il convient de déterminer la matrice fondamentale
(18)

$$N = (I - T)^{-1}$$

qui donne les délais moyens d'arrêt dans les états.

Comme il n'y a pas de retour possible dans T, les chemins entre les états transitoires peuvent être représentés par un graphe sans circuit ; donc il suffira d'accumuler les probabilités des différents trajets possibles entre deux états quelconques pour obtenir celle de passage au deuxième, en considérant celui-ci comme étant le plus proche du stimulus S_j .

On pourrait croire que les délais moyens d'arrêt devraient être proportionnels aux probabilités de permanence p_{ii} ; mais il n'en est rien, car ces probabilités sont, comme nous l'avons vu, indépendantes de la position de la projection par rapport au point de départ et au stimulus. Par contre les probabilités accumulées correspondent aux événements "arrivée dans la projection S_i ", événements qui doivent se vérifier pour qu'on puisse parler d'un délai d'arrêt.

Les délais moyens d'arrêt doivent donc être proportionnels à ces probabilités ; d'autre part ils seront d'autant plus importants que la probabilités de réponse correcte sera moindre ; on doit alors avoir

$$n_{i\ell} = K \frac{\hat{p}_{i\ell}}{\psi}$$

où

$$\hat{p}_{i\ell} = P(a_{t+s} \in S_\ell | a_t \in S_i)$$

S étant suffisamment grand pour que le chemin entre S_ℓ et S_i puisse être parcouru.

De ce que l'on vient de dire on peut conclure que

$$n_{ik} = \frac{K}{\Psi} \sum \left[\prod_{\substack{i < m \leq k \\ i \leq \ell < k}} P(a_t \in S_m | a_{t-1} \in S_\ell) \right] = \frac{K}{\Psi} \pi_{ik}$$

où la somme sera faite sur tous les chemins possibles entre i et k , m et ℓ étant tels que S_ℓ soit adjacent et antérieur à S_m .

Nous n'avons pas réussi à prouver formellement cette construction ; elle a pourtant été vérifiée sur des cas particuliers, d'où on peut aussi conclure que le coefficient de proportionalité K est égal à 1.

Nous n'insisterons pas sur le calcul des caractéristiques du processus qui peuvent être calculées à l'aide de la matrice N ; il suffit d'indiquer :

- les variances des délais d'arrêt,

$$N_2 = N(2N_{dg} - I) - N_{sq}$$

- les délais moyens d'arrêt dans l'ensemble des états transitoires,

$$\tau = N\xi$$

- les variances des délais d'arrêt,

$$\tau_2 = (2N - I) \tau - \tau_{sq}$$

où

$$N_{dg} = \begin{bmatrix} n_{ij} & \delta_{ij} \end{bmatrix} \quad N_{sq} = \begin{bmatrix} 2 \\ n_{ij} \end{bmatrix}$$

$$\xi = \text{vecteur colonne somme} \quad \tau_{sq} = \begin{bmatrix} 2 \\ \tau_i \end{bmatrix}$$

Du point de vue de l'utilisation de la méthode, il y a évidemment un grand intérêt dans l'établissement du délai d'arrivée à l'ensemble ergodique, cela permettant de doser convenablement le travail d'exploration externe et interne à cet ensemble. L'exploration externe est indispensable pour la construction de l'ensemble ^{des} stimuli, c'est à dire, à la localisation des zones de plus grand intérêt dans \mathcal{P} ; mais il ne faut pas la pousser trop loin, ou le choix d'un stimulus comme but à atteindre n'aurait plus de sens. L'adéquation du modèle aux conditions particulières du problème en étude sera alors faite par la valeur de γ , qui peut être obtenue de N si on établit le délai δ envisagé. En connaissant le point de départ $a_0 \in S_\ell$ on fera alors

$$\tau_\ell = \delta$$

soit

$$\Psi = \frac{1}{\delta} \sum_i \pi_{\ell i}$$

Cette solution est pourtant peu pratique, étant donnée que la détermination des $\pi_{\ell i}$ exige un travail assez long de calcul; il est plus simple d'observer que, que le chemin sur le treillis \mathcal{P} étant orienté vers le stimulus, la probabilité du niveau suivant est égale à 1 et celle du niveau antérieur est nulle; donc il ne sera pas nécessaire de connaître les probabilités accumulées pour chaque projection, la somme de ces probabilités dans chaque niveau de \mathcal{P} étant nécessairement égale à 1.

On aura alors

$$\gamma = \Psi = \frac{1}{\delta} [d(s_i, s_j) - 1]$$

où S_j est le stimulus ; on déduit le dernier pas parce qu'il sera exécuté dans l'ensemble ergodique.

Considérer $\gamma = \Psi$ équivaut à dire qu'on s'attend à ce que le conditionnement n'ait lieu qu'à l'arrivée dans l'ensemble ergodique ; alors il faut adopter une condition relative à la valeur de la probabilité absolue de la transition après l'écoulement du délai . On rappelle que la probabilité pour qu'il y ait δ tirages sans conditionnement est

$$p_\delta = (1 - \sigma)^\delta \quad (1)$$

La valeur de γ étant liée aux conditions qui règnent dans l'ensemble T des états transitoires, elle ne conviendra pas, a priori, au travail dans l'ensemble ergodique R ; il convient de ce fait d'établir un seuil pour la probabilité p_δ , ce qui accroîtra la possibilité d'avoir ω comme probabilité de réponse correcte dans R.

Soit ϵ ce seuil ; alors, par (1)

$$\sigma \geq 1 - \epsilon^{\frac{1}{\delta}}$$

Faute d'autres informations, on prendra l'égalité pour obtenir σ et on calculera alors θ_0 et θ_1 , en rappelant que

$$\theta_0 = \frac{\sigma}{2(1-\gamma)} \quad \text{et} \quad \theta_1 = \frac{\sigma}{2\gamma}$$

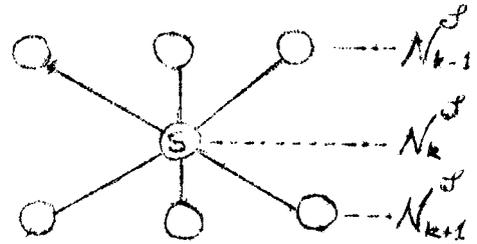
L'ensemble ergodique

Il est constitué par les états correspondants à la projection-stimulus S_j et à celles qui lui sont adjacentes ; il aura donc $m_j + 1$ éléments, dont la liaison n'est assurée que par le stimulus ; cette

exclusivité découle du fait que les projections adjacentes appartiendront toujours, soit au niveau antérieur, soit au niveau suivant, par rapport à celui du stimulus ; or, nous avons vu que deux éléments du même niveau ne sont jamais unis par un chemin unitaire.

L'ensemble ergodique possède de ce fait une configuration "en étoile" qui est facile à étudier.

Dans la matrice R, en plaçant la projection-stimulus au dernier rang, on aura



$$R = \begin{bmatrix} 1-\Psi & & & \Psi \\ & 1-\Psi & & \Psi \\ & & & \Psi \\ \frac{\Psi}{m_j} & \frac{\Psi}{m_j} & & 1-\Psi \end{bmatrix}$$

soit

$$R = (1 - \Psi) I + \Psi L$$

où

$$L = \begin{bmatrix} & & & 1 \\ & \bigcirc & & 1 \\ \frac{1}{m_j} & \frac{1}{m_j} & & 0 \end{bmatrix}$$

Le vecteur stationnaire sera donc donné par

$$\alpha_R [(1 - \Psi) I + \Psi L] = \alpha_R$$

d'où l'on tire

$$\alpha_R = \left(\frac{1}{2m_j}, \frac{1}{2m_j}, \dots, \frac{1}{2m_j}, \frac{1}{2} \right)$$

On remarque que L est aussi une matrice stochastique, correspondant aux passages entre les états.

La matrice fondamentale

$$Z = (I - R + A_R)^{-1} \quad \left(\text{où } A_R = \begin{bmatrix} \alpha_R & \alpha_R & \dots & \alpha_R \end{bmatrix} \right)$$

devient

$$Z = \left[\Psi(I - L) + A_R \right]^{-1}$$

Z^{-1} est de la forme

$$\begin{bmatrix} M_j & \gamma \\ \beta & \alpha \end{bmatrix},$$

en ayant

$$\beta = \frac{1-2\Psi}{2m_j} \eta, \quad \gamma = \frac{1-2\Psi}{2} \xi, \quad \alpha = \frac{1+2\Psi}{2}$$

et

$$M_j = \frac{1}{2m_j} \begin{bmatrix} 2m_j\Psi + 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2m_j\Psi + 1 & \dots & 1 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & \dots & 2m_j\Psi + 1 \end{bmatrix}$$

L'inversion de cette matrice nous permettra de trouver Z ; en employant la notation de HADLEY (19) nous aurons

$$Z = \begin{bmatrix} D & C \\ B & A \end{bmatrix} \quad \text{où} \quad \begin{aligned} A &= (\alpha - \beta M_j^{-1} \gamma)^{-1} \\ B &= -\alpha \beta M_j^{-1} \\ C &= -M_j^{-1} \gamma A \\ D &= M_j^{-1} - M_j^{-1} \gamma B \end{aligned} \quad (1)$$

On peut classer les mineurs d'ordre $m_j - 1$ de M_j en trois classes :

- ceux des éléments de la diagonale principale,

$$\left| M_j^d \right| = x^{j-2} (x + j - 1) \quad \text{où } x = 2m_j \Psi, \quad j = m_j$$

- ceux des éléments des positions négatives,

$$\left| M_j^- \right| = x^{j-2}$$

- ceux des éléments des positions positives,

$$\left| M_j^+ \right| = -x^{j-2}$$

Enfin, le déterminant de M_j est

$$\left| M_j \right| = x^{j-1} (x + j)$$

Après simplifications, on aura alors

$$M_j^{-1} = \frac{1}{\Psi} I - \frac{1}{m_j \Psi (2\Psi + 1)} E \quad \text{où } e_{ij} = 1$$

et, d'après (1),

$$Z = \frac{1}{4m_j \Psi} \begin{bmatrix} 4m_j - (3-2\Psi) & - (3-2\Psi) & - m_j(1-2\Psi) \\ - (3-2\Psi) & 4m_j - (3-2\Psi) & - m_j(1-2\Psi) \\ - (1-2\Psi) & - (1-2\Psi) & m_j(1+2\Psi) \end{bmatrix}$$

L'intervalle moyen de passage étant donné par

$$M = (I - Z + EZ_{dg}) D \quad \text{où } D = \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha_i \end{bmatrix} \delta_{ij}$$

nous aurons

$$M = \frac{1}{\Psi} \begin{bmatrix} 2m_j \Psi & 2m_j & 1 \\ 2m_j & 2m_j \Psi & 1 \\ 2m_j^{-1} & 2m_j^{-1} & 2\Psi \end{bmatrix}$$

La variance de l'intervalle de passage étant donné par

$$M_2 = W - M_{sq}$$

$$\text{où } M_{sq} = \begin{bmatrix} 2 \\ m_{ij} \end{bmatrix}$$

$$W = M(2Z_{dg} D - I) + 2(ZM - E(ZM)_{dg})$$

nous aurons

$$M_2 = \frac{1}{2\Psi^2} \begin{bmatrix} 16k^2\Psi - 8k^2\Psi^2 + 4k\Psi^2 - 12k\Psi & 6k^2 + 6k\Psi + 2\Psi^2 - 11k - 9\Psi + 5 & 2(1-\Psi) \\ 8k^2 + 6k\Psi + 2\Psi^2 - 11k - 7\Psi + 3 & & 4\Psi(1-\Psi) \end{bmatrix}$$

Les variances limites du nombre d'occurrences des états seront

$$\beta = (\alpha_j(2Z_{jj} - 1 - \alpha_j))$$

d'où, pour les m_j premières projections,

$$\beta_j = \frac{m_j(4-2\Psi)+\Psi-3}{4m_j\Psi}$$

et, pour le stimulus,

$$\beta_s = \frac{1-\Psi}{4\Psi}$$

Il peut sembler étrange que pour $\Psi = 0$ on n'obtienne pas des variances nulles, comme cela pourrait être (puisque le processus n'abandonnerait jamais la projection où il aurait pris le départ) ; en fait ce qui arrive c'est que l'expression de β n'est pas valable pour ce cas là : on aurait en effet,

$$Z = A_R^{-1}$$

or A_R est toujours singulière, donc Z n'existe pas.

Si $\Psi = 1$, à chaque tirage correspond un changement d'état du processus ; donc le nombre de passages dans le stimulus sera égal à $\frac{n}{2}$ et sa variance nulle, ce qui est en accord avec l'expression.

On peut observer que l'étude ne donne aucun renseignement sur la valeur la plus convenable de ω ; en effet α_R ne dépend que de m_j et on obtiendra toujours, à la limite, la moitié des points appartenant à la projection-stimulus.

Il convient tout de même que ω ait une valeur pas trop faible car les transitions seraient alors peu fréquentes, ce qui rendrait la recherche moins attirante ; évidemment il convient d'éviter la certitude sur la réponse et donc ω ne doit pas être égal à 1.

Enfin, il est important de remarquer que les variances obtenues sont souvent assez élevées, ce qui fait qu'on perd beaucoup de la valeur de l'étude comme indicatrice des conditions à adopter ; cela étant pourtant inévitable, le mieux que l'on puisse faire est d'évaluer les paramètres du modèle tels qu'ils ont été évalués, tout en sachant que l'on peut obtenir des écarts parfois importants par rapport au comportement attendu.

7 - CONCLUSIONS

La recherche morphologique est un puissant outil de stimulation créatrice ; son application et les démarches mentales qu'elle entraîne, peuvent libérer de ses habitudes inconscientes de pensée ceux qui en font usage et de ce fait éclaircir des problèmes qui resteraient autrement obscurs parce qu'ils ne seraient que très difficilement abordés.

Elle a été conçue pour être appliquée par un individu seul ; néanmoins on a vérifié que ses avantages seraient encore plus profitables si elle était utilisée au sein d'un groupe de recherche.

Il y avait une difficulté majeure, c'est à dire le nombre de solutions engendrées par la morphologie, qui rendait très souvent impossible une exploration totale ; on a alors pensé à utiliser des méthodes d'exploration capables d'extraire des échantillons de l'ensemble produit. Ces méthodes, déterministes ou aléatoires, ont facilité de beaucoup le travail en permettant d'étudier des morphologies plus étendues avec des résultats assez satisfaisants.

L'utilisation des ordinateurs dans ce travail a rendu facile l'application de ces méthodes ; d'autre part on a eu accès à un nouveau concept, celui du dialogue homme-ordinateur. L'utilisation d'un système conversationnel permet maintenant de demander des nouvelles solutions au fur et à mesure des besoins d'un groupe de recherche, à l'aide de la méthode que l'on juge la plus convenable.

Pour donner tout son sens à l'idée de dialogue il faudrait que l'homme puisse apporter à l'ordinateur des données concernant l'opinion qu'il a formée sur les solutions fournies par ce dernier ; cela ne serait possible que si l'ordinateur était capable de prendre en compte ces informations pour essayer de satisfaire aux critères de l'homme.

L'idée d'un programme adaptatif s'impose donc naturellement à partir de ce concept de dialogue ; c'est donc la voie que nous avons suivie, en proposant l'adoption d'un modèle stochastique d'adaptation.

Nous nous sommes appuyés sur l'hypothèse de l'influence de certains sous-assemblages sur la qualité des solutions ; nous avons aussi admis que, dans certains cas, un sous-assemblage présente un intérêt beaucoup plus grand que celui de ses homologues pris individuellement. C'est le phénomène de la synergie d'intérêt.

En adoptant un modèle capable de chercher des sous-assemblages apportés par le groupe tout en fournissant de nouvelles combinaisons, on satisfait l'intérêt du groupe pour les sous-assemblages et le besoin de continuer ailleurs l'exploration. Ce dernier est la motivation normale en l'absence du modèle ; on voit donc que l'on apporte à la recherche une double motivation, d'où les méthodes adaptatives doivent être beaucoup plus stimulantes que celles non adaptatives.

L'impossibilité d'effectuer des séances comparatives des deux classes de méthodes nous empêche de discuter la façon dont les méthodes adaptatives doivent être utilisées ; nous pensons tout de même que le groupe doit s'occuper le moins possible du fait qu'il utilise un modèle d'adaptation ; c'est à dire qu'il ne doit que discuter sur les stimuli à définir, le reste étant l'affaire de l'opérateur.

Il faudra, de toute façon, bâtir cette méthodologie d'utilisation, ce qui exigera l'attention des méthodologistes et des psychologues utilisant la recherche morphologique.

En ce qui concerne le modèle, l'étude probabiliste des conséquences de son introduction a permis d'en estimer les valeurs des paramètres de façon à satisfaire le mieux possible les besoins de l'exploration. L'étude nous donne aussi une vue assez claire du comportement des méthodes adaptatives ; elle éclaire quelques points intéressants comme l'importance du coefficient de voisinage, le sens des deux réponses du modèle dans le chemin aléatoire et le comportement de ce chemin dans l'ensemble ergodique d'états du processus adaptatif.

Il ne faut pas oublier, tout de même, que les variances de variables aléatoires liées aux chaînes de Markov sont dans la plupart des cas assez élevées, surtout quand le processus est du type que l'on trouve en étudiant la randomisation libre. Il s'en suit que l'on doit s'attendre à des déviations assez importantes par rapport aux valeurs espérées. Néanmoins, la détermination des paramètres, telle qu'elle a été faite, est la meilleure que l'on peut obtenir.

On a adopté une contrainte relative aux probabilités absolues de conditionnement ; de ce fait on a pu estimer ces probabilités dont nous avons vu que l'étude markovienne était incapable de les prendre en compte séparément. La contrainte adoptée nous semble assez valable d'après le raisonnement sur l'équilibre des influences des deux probabilités θ_0 et θ_1 .

Les méthodes aléatoires adaptatives peuvent être utilisées dans l'étude de problèmes ayant des critères de qualité mesurable ; l'évaluation de la qualité des solutions peut dans ces cas être faite par un sous-programme construit à cet effet.

Il ne sera évidemment plus question de considérations d'ordre psychologique, mais le système de travail sera toujours le même : le sous-programme de jugement cherchera à dégager les sous-assemblages de qualité meilleure et les gardera comme de stimuli. Le modèle travaillera alors avec ces stimuli.

Parallèlement on utilisera parfois des stratégies de pondération pour essayer de mettre en relief de nouvelles combinaisons intéressantes d'homologues ; si on arrive à pondérer les homologues des meilleures solutions, on peut supposer qu'après un certain nombre de tirages les homologues qui ont acquis un poids plus élevé doivent avoir un apport favorable à la constitution de bonnes solutions. Cette supposition n'est pas toujours vraie, a priori ; donc la stratégie de pondération doit être choisie en accord avec le problème si on dispose d'assez d'informations pour le spécifier.

Nous croyons avoir apporté, avec notre travail, quelques idées et quelques éclaircissements utiles à ceux qui voudront se servir de la recherche morphologique. Il ne s'agit que d'une modeste contribution destinée à faciliter l'exploration des univers combinatoires de la morphologie et en même temps à augmenter les possibilités de stimulation inventive de la technique.

Le travail est certainement incomplet, beaucoup de points restant encore à éclaircir ; mais l'étude des possibilités du couple homme-ordinateur est encore à ses débuts et elle exigera encore pendant des années l'attention des psychologues, des informaticiens et des méthodologistes de la stimulation inventive.

Cette discipline nouvelle qui est l'inventique a certainement un long chemin à parcourir ; nous sommes heureux d'avoir contribué à avancer d'un pas, si petit soit-il.

APPENDICE I - NOTATION

La notation concernant la recherche morphologique est en accord avec celle utilisée par KAUFMANN (7, 8).

La notation concernant le modèle est en partie celle de ROUANET (13) et en partie celle de KARUSH et DEAR (14, 15, 16).

La notation concernant les chaînes de Markov est celle de KEMENY et SNELL (18).

Notation concernant la recherche morphologique

\mathcal{M}	morphologie (ensemble ordonné).
F^i	formateur, élément d'ordre i de \mathcal{M} .
\mathcal{P}	ensemble produit morphologique.
φ_k^i	homologue, élément d'ordre k dans F^i .
$d(a,b)$	distance de Hamming entre les parties a et b de \mathcal{P} , a et b étant définissables par des vecteurs.
v	fonction niveau.
N_k	ensemble niveau, ensemble dans lequel tout élément \underline{a} est tel que $v(\underline{a}) = k$.
\mathcal{S}	partition de \mathcal{P} par projections (ensemble ordonné).
S_i	projection, élément d'ordre i de \mathcal{S} .
\mathcal{M}_s	sous-morphologie, sous-ensemble ordonné de \mathcal{M} .
r	nombre de formateurs dans une morphologie donnée.

Notation concernant le modèle d'adaptation

z^0	état initial du modèle par rapport à un stimulus donné ; dit aussi "état de non-conditionnement".
z^1	état final du modèle par rapport à un stimulus donné ; dit aussi "état de conditionnement".

a^1	réponse possible du modèle, dite "correcte".
a^2	réponse possible du modèle, dite "incorrecte".
S	situation-stimulus ; ensemble ordonné dont les éléments sont appelés "stimuli".
s_i	stimulus d'ordre i dans S.
θ_1	probabilité absolue de transition $z^0 \rightarrow z^1$ après une réponse a^1 .
θ_0	probabilité absolue de transition $z^0 \rightarrow z^1$ après une réponse a^2 .
ω	probabilité de la réponse a^1 dans z^1 .
γ	probabilité de la réponse a^1 dans z^0 .
λ_n	probabilité de transition $z^0 \rightarrow z^1$ à l'issue de l'essai n.
ψ_k	probabilité a priori de la réponse a^1 dans l'essai k.
σ	probabilité a priori de transition $z^0 \rightarrow z^1$.

Notation concernant l'étude des méthodes adaptatives

Notation générale

$ A $	cardinal ou nombre d'éléments de l'ensemble A.
P	matrice de Markov, matrice des probabilités de transition.
\hat{P}	matrice de Markov obtenue d'une matrice P par compactation.
M	matrice des délais moyens de premier passages dans les états d'une chaîne de Markov.
M_2	matrice des variances des délais de premier passage dans les états.
α	vecteur stationnaire d'une matrice P.
D	matrice diagonale dont les éléments non nuls sont les inverses des composantes de α .
E	matrice dont tous les éléments sont égaux à 1.
β	vecteur des variances limite des nombres de passages dans les états.
Z	matrice fondamentale des chaînes de Markov ergodiques.

- \mathbb{N}_0 ensemble des entiers positifs, le zéro étant exclu.
- A matrice dont les lignes sont égales au vecteur stationnaire α .
- $M_i \begin{bmatrix} f_j \end{bmatrix}$ valeur moyenne de la fonction f_j si le départ de la chaîne a eu lieu dans l'état i .
- N matrice fondamentale d'une chaîne de Markov absorbante ; matrice des délais moyens d'arrêt dans les états transitoires d'une chaîne de Markov.
- T_{dg} matrice diagonale dont la diagonale principale est égale à celle de T.
- T_{sq} matrice des carrés des éléments de T.
- ξ vecteur somme colonne ($\xi_i = 1$).
- η vecteur somme ligne ($\eta_i = 1$).
- μ masse totale (nombre de points) d'une partie de \mathcal{P} .

Certains parmi les éléments de cette notation ont été utilisés pour dénoter d'autres grandeurs dans des cas particuliers ; on a pourtant veillé à éviter toute ambiguïté.

Notation particulière à certaines parties de l'étude

Etude par niveaux

- p_k dans l'étude de la randomisation libre, probabilité de transition vers l'état correspondant au niveau N_k .
- μ_k masse totale (nombre de points) du niveau N_k .
- \bar{t}_k délai moyen de premier passage dans l'état correspondant au niveau N_k .
- \hat{p}_k dans l'étude de la randomisation libre adaptative, probabilité de transition vers l'état correspondant au niveau \hat{N}_k du stimulus.
- p_k, q_k dans l'étude du chemin aléatoire, probabilités de transition du niveau N_k (ou N_{T-k}) au niveau voisin extérieur (p_k) ou intérieur (q_k).

Etude par partitions

- μ' masse totale (nombre d'éléments) de la projection considérée comme stimulus.
- ϵ seuil de la probabilité a priori de z^0 après un nombre donné de tirages.
- δ_0, δ_1 proportion voulue de réponses incorrectes par rapport à celles correctes, respectivement dans z^0 et dans z^1 .
- p, q dans l'étude de la randomisation libre, probabilités d'appartenance d'un point à la projection-stimulus et à son complément par rapport à \mathcal{P} .
- d nombre de dimensions d'une projection donnée.
- r' nombre de formateurs d'une sous-morphologie donnée.
- \bar{l}' nombre moyen de chemins unitaires par point dans une projection donnée.
- m fonction voisinage, dont le domaine est \mathcal{Y} .
- $m_k, m(S_k)$ coefficient de voisinage, nombre des chemins unitaires externes d'un point quelconque d'une projection S_k ; valeur de la fonction m pour S_k . (L'indice k peut être considéré comme celui des éléments de \mathcal{Y} ou celui des éléments de la partition B de \mathcal{Y}).
- B partition de \mathcal{Y} d'après les valeurs de la fonction m pour ses éléments.
- $n_{(2)}$ nombre de formateurs à 2 éléments dans une morphologie.
- \bar{l}_k nombre moyen de chemins unitaires des points d'une projection S_k .
- n_m nombre de valeurs différentes que peut prendre $m(S_k)$, S_k donnée.
- p_k, q_k probabilités de transition et de permanence relatives à une projection dont le coefficient de voisinage est k .
- B_j élément de B , ensemble des projections de coefficient de voisinage j .
- $S_i^{(j)}$ projection appartenant à B_j .

- $V_i^{(j)}$ ensemble des projections voisines de $S_i^{(j)}$.
- $A_f^{(j)}$ une partition possible d'un $V_i^{(j)}$, d'après les valeurs des coefficients de voisinage de ses éléments.
- $V_i^{(k)}$ élément d'une partition $A_f^{(k)}$ donnée ; les projections éléments de $V_i^{(k)}$ ont un coefficient de voisinage égal à k .
- N_k nombre d'éléments de \mathcal{S} ayant un coefficient de voisinage égal à k .

APPENDICE II

PRESENTATION DES PROGRAMMES ET INSTRUCTIONS POUR L'UTILISATION

Des programmes ont été mis au point pour deux systèmes conversationnels :

- le système GE TIMESHARING avec ordinateur GE-235 - en langage BASIC (20, 21, 22).
- le système IBM CP/CMS avec ordinateur IBM-360/67 - en langage FORTRAN IV-360(23, 24, 25).

Les organigrammes des deux programmes étant semblables, nous préférons les présenter ensemble, tout en faisant état des éventuelles différences ; par contre les instructions d'utilisation seront présentées séparément pour rendre plus facile leur compréhension.

Présentation des programmes

Il y a des différences assez importantes entre les deux ordinateurs et aussi entre les langages utilisés, ce qui explique certaines différences entre les deux programmes en ce qui concerne les entrées-sorties et l'utilisation de l'espace mémoire.

Tout d'abord le GE-235 n'a que 16K de mémoire, ce qui nous a obligé à définir trois programmes principaux : celui qui commande tout l'ensemble (MORPHO) et ceux qui exécutent les deux méthodes programmées (RANDL, randomisation libre avec un sous modèle, et CHALET, chemin aléatoire avec ou sans modèle), la liaison étant faite par chaînage dynamique.

D'autre part, le compilateur BASIC pour le GE-235 ne peut compiler que des instructions ayant un total de 6144 caractères au plus ; il a donc fallu couper les programmes principaux en un certain nombre de sous-programmes, qui viennent s'ajouter à ceux qui avaient déjà été définis.

Enfin, les communications entre les programmes sont assurées par des fichiers binaires à accès direct, dont quelques uns sont utilisés pour le stockage des stimuli, des blocages et des solutions ; donc il n'y a pas de problème d'espace mémoire pour les résultats.

On a avec ce programme un exemple d'une structure convenable pour un ordinateur de petite taille.

D'autre part, l'IBM-360/67, avec 512K de mémoire, ne pose aucun problème d'espace mémoire ; il n'y a alors qu'un programme principal et un ensemble de sous-routines FORTRAN dont les principales sont celles qui exécutent les méthodes (appelées aussi RANDL et CHALET).

Les programmes, tels qu'ils ont été écrits admettent au plus (pour l'IBM-360, sans stockage auxiliaire ou redéfinition)

- programmes FORTRAN :

30 stimuli

20 blocages

1 000 solutions

- programme BASIC : étant donné que l'on y travaille avec des fichiers, il faut donner leur capacité en composantes, c'est à dire qu'il faut diviser le nombre de composantes par le nombre de formateurs pour connaître le nombre de vecteurs ; le plus grand fichier qui peut être défini admet 1023 composantes au plus.

Dans les deux programmes on peut accéder aux diverses fonctions à l'aide d'un ensemble de commandes ; une fois la commande donnée, elle est interprétée par le programme de coordination (MORPHO) comme un choix d'une direction dans un aiguillage multiple.

Les fonctions et les commandes respectives sont les suivantes :

FONCTION	PROG.FORTRAN	PROG.BASIC
Initialisation	-----	DEBUT
Enregistrement de stimulus	REGS (TIM)	REGSTIM
Enregistrement de blocage	REGB (LOQ)	REGBLOC
Changement de paramètre	ALTP (AR)	ALTPAR
Elimination de stimulus	ELST (IM)	ELSTIM
Elimination de blocage	ELBL (OQ)	ELBLOC
Appel de la randomisation libre	RAND (L)	RANDL
Appel du chemin aléatoire	CHAL (ET)	CHALET
Continuation avec une méthode	SUIT (E)	SUITE
Impression de solutions	ECRS (OL)	ECRSOL
Impression des paramètres	DISP (LAY)	-----
Fin de travail	STOP	-----

Dans le programme FORTRAN on peut, si on veut, n'écrire que les quatre premiers caractères ; dans le programme BASIC, par contre, il faut écrire le mot tout entier.

L'initialisation n'est pas nécessaire dans le programme FORTRAN car elle est faite par des commandes DATA dans le programme principal et dans le BLOCK DATA ; par contre dans le programme BASIC le DATA n'est pas pris en compte automatiquement.

Les entrées de valeurs de variables en BASIC doivent être séparées par des virgules ; en FORTRAN elles obéissent à leurs FORMATS respectifs (voir Instructions).

Dans le BASIC, l'écriture dans les fichiers n'est faite qu'à la fin de l'exécution ; on doit de ce fait prendre quelques précautions lors de l'introduction de données (voir Instructions).

Dans le programme BASIC le stockage des points est fait en gardant toutes les coordonnées ; dans le programme FORTRAN, on utilise une bijection de l'ensemble produit, muni de la relation d'ordre totale lexicographique, avec l'ensemble des entiers positifs muni de la relation de domination. Le premier système a l'avantage de n'exiger aucun calcul ; mais si on n'admet pas de répétition de points, l'inspection qui devient nécessaire est plus difficile ; le second exige par contre des calculs pour le codage et le décodage des points, mais l'inspection y est beaucoup plus rapide. Le stockage exige aussi beaucoup moins d'espace que celui des vecteurs, ce qui est important si on veut utiliser le programme en automatique (cas du programme FORTRAN, le programme BASIC tel qu'il est à présent ne l'admettant pas).

Le programme FORTRAN contient une sous-routine appelée STFIC, qui peut être vide ou contenir des commandes de lecture et d'écriture dans un fichier séquentiel ; cette dernière forme est convenable pour le travail sous CP/CMS, car on peut l'utiliser pour stocker les paramètres, les stimuli, les blocages, les points tirés, les poids et les probabilités absolues de conditionnement.

Les fichiers du programme BASIC gardent déjà tous les paramètres et il suffit de ne pas réinitialiser les paramètres du programme pour que le travail soit repris au même endroit où il avait été arrêté.

Il y a dans les deux programmes une sous-routine appelée APDEL qui est destinée au jugement des solutions dans un travail automatique. Elle est tout d'abord vide et devra être remplie par l'utilisateur en accord avec le problème qu'il veut étudier. Cela ne peut pourtant pas être fait avec CHALET en BASIC, car ce programme touche déjà aux restrictions du compilateur BASIC en ce qui concerne le nombre de boucles et d'instructions de transfert ; pour y arriver il faudrait disposer d'un compilateur plus puissant, ce qui ne serait peut-être possible qu'avec un ordinateur ayant plus de mémoires.

Pour un exemple utilisant le programme FORTRAN, voir l'Appendice III.

Sous-programmes de service

La structure des programmes FORTRAN et BASIC est semblable en ce qui concerne les sous-programmes de service ; le programme FORTRAN en contient plus, car il doit satisfaire aux exigences de l'automatisation et il peut fournir une liste des paramètres, ce que le programme BASIC ne fait pas.

Les sous-programmes de service suivants existent dans les deux programmes :

- TSTIML (FORTRAN)/AUXO4 (BASIC) - pour le tirage ou la lecture du numéro d'ordre du stimulus correspondant ;
- PROV - pour le tirage au hasard, équiprobable ou non, des homologues ;
- DECIS - pour un choix aléatoire dont l'événement favorable est affecté d'une parmi deux probabilités disponibles ; l'utilisation d'une ou de l'autre est déterminée à l'aide d'un paramètre. Elle fait le choix aléatoire du type de réponse du modèle et à celui de la transition ou non d'état du modèle.
- IDSASS - pour la comparaison (facultative) d'un point avec tous les points déjà sortis ; on l'appellera par la suite "inspection des points" ;
- pour le stockage (obligatoire) de ce point, s'il n'existe pas déjà, ou s'il n'y a pas eu de comparaison ;
 - pour la comparaison (obligatoire) :
 - . d'un stimulus avec l'ensemble des points (on ne doit évidemment pas faire de stockage)
 - . d'un stimulus avec l'ensemble des stimuli (stockage facultatif).
 - . d'un blocage avec l'ensemble des points (pas de stockage)
 - . d'un blocage avec l'ensemble des blocages (stockage facultatif)

- . d'un point avec l'ensemble des stimuli (pas de stockage)
- . d'un point avec l'ensemble des blocages (pas de stockage).

Dans le programme BASIC, si on veut comparer un stimulus ou un blocage avec l'ensemble des points, il faut préalablement inverser la définition des variables concernées, car les **identificateurs** d'un programme principal et d'un sous-programme ne sont pas indépendants ; pourtant ces fonctions ne sont pas utilisées habituellement ; elles sont en réserve pour être utilisées dans le sous-programme de jugement, s'il en faut.

Dans le programme BASIC, IDSASS fait aussi la gestion des fichiers de stimuli et de blocages, et des deux fichiers de points ; il passe automatiquement au second fichier de points dès que le premier est rempli.

INSPEC - pour la sélection des directions utilisables pour le chemin aléatoire ; le sous-programme bloque le saut unitaire sur une direction dans les cas suivants :

- . s'il amène le chemin en dehors du treillis ;
- . s'il conduit à une position bloquée ;
- . si la direction inverse vient d'être empruntée (ce qui empêche un retour direct sur la dernière position) ; cela n'est fait que dans le programme FORTRAN ;
- . si, en faisant l'inspection du point suivant, on découvre qu'il était déjà sorti.

Si le saut unitaire conduit à une position interdite par blocage, le sous-programme essaye un saut plus grand ; si ce saut amène le chemin en dehors du treillis, la direction est fermée. On admet un saut de trois unités au plus, s'il n'est pas satisfaisant la direction est fermée (INSPEC en BASIC ne possède pas cette sécurité).

CONDIC (FORTRAN)/AUX06 (BASIC) - pour la préparation du choix aléatoire de la transition ou non d'état du modèle ; le sous-programme calcule les valeurs des probabilités conditionnelles λ_n^+ et λ_n^-

et les transmet à DECIS, qui fait le choix ; ensuite il modifie la probabilité λ_n qui sera prise en compte au tirage suivant. Si la transition a eu lieu, le sous-programme ne sera pas appelé lors du tirage suivant.

ALTPAR (FORTRAN)/AUX03 (BASIC) - pour le changement des paramètres du problème.

Sous-programmes particuliers en programme BASIC :

LECFIC - pour la lecture des paramètres et de la matrice des poids lors d'un chaînage dynamique ;

PSILIN, AUX01, AUX02 - détachés de MORPHO, pour satisfaire aux exigences du compilateur ;

AUX04, AUX05, AUX08 - détachés de CHALET, pour la même raison ;

AUX07 - détaché de RANDL, pour la même raison.

Sous-programmes particuliers au programme FORTRAN :

RANDL - sous-programmes IBM, générateur de nombres pseudo-aléatoires (ce travail est fait en BASIC par une fonction interne) ;

DISP - pour le "display" ou étalage des paramètres du programme ; cet étalage peut être total ou partiel et s'il est partiel on peut le commencer par n'importe quel paramètre ;

ECRIT - pour l'impression de la plupart des messages fournis par RANDL et CHALET (facultative) et aussi pour l'impression des coordonnées des points tirés (facultative) ;

OPTION - pour recevoir les options de répétition ou non de certaines fonctions du programme MORPHO (en contrôle manuel) ;
- pour contrôler le nombre de fois qu'une de ces fonctions est exécutée en séquence (en automatique).

STFIC - pour la lecture et l'écriture dans des fichiers, des variables qui peuvent être modifiées au cours d'une séance, de façon à permettre la reprise du travail dans la séance suivante, au point où il avait été arrêté à la séance précédente.

KOD - pour le codage et décodage des points tirés ; on en parlera plus tard.

Les données numériques et alphanumériques sont introduites :

- . en BASIC, au moyen de commandes DATA à la fin du programme MORPHO, dans un ordre pré-établi (voir Instructions) ;
- . en FORTRAN, au moyen de BLOCK DATA, toutes les données étant transférées au programme principal et aux sous-programmes à l'aide d'un COMMON étiqueté.

Instructions pour le programme BASIC

Préalablement il faudra suivre les étapes suivantes :

- définition des fichiers : on peut utiliser les tailles suivantes :

fichier des paramètres (PARAM) ----- 1536 caractères

fichier des stimuli (STIML) ----- 3072 caractères

fichier des blocages (BLOQ) ----- 3072 caractères

fichier des points (LIST 1 et LIST 2) ---- 6144 caractères

- introduction des données : les commandes DATA à partir de 990 doivent être remplacées par celles qui correspondent au problème que l'on veut étudier et aux désirs de l'utilisateur. L'ordre d'introduction est le suivant :

- les paramètres (en finissant par les cardinaux des formateurs)
- la morphologie.

La liste des paramètres, avec leur signification et les identificateurs correspondants est la suivante (les variables dont la valeur initiale est zéro sont marquées avec un astérisque) :

- 1 - Z1 compteur des stimuli (*)
- 2 - Z9 compteur des blocages (*)
- 3 - N nombre de formateurs
- 4 - L nombre désiré de tirages par sortie
- 5 - Z6 compteur des solutions (*)
- 6 - Y choix de méthode et stratégie
- 7 - D1 nombre d'ordre du stimulus utilisé (*)
- 8 - Z4 compteur de tirages non réussis (*)
- 9 - E2 choix de forme de sélection de stimulus
- 10 - C1 contrôle du début du chemin aléatoire (*)
- 11 - Z5 compteur des solutions dans une sortie (*)
- 12 - X2 seuil ε de la probabilité de non-conditionnement
- 13 - E indicateur de pondération
- 14 - F nombre minimal de stimuli exigé par le modèle
- 15 - P variable de départ pour la génération des nombres aléatoires
- 16 - G1 probabilité de réponse correcte dans z^0 (γ) (*)
- 17 - G2 probabilité de réponse correcte dans z^1 (ω)
- 18 - G3 probabilité absolue de conditionnement après réponse incorrecte (*)
- 19 - G4 probabilité absolue de conditionnement après réponse correcte (*)
- 20 - G5 proportion voulue de tirages hors/dans le stimulus, dans z^0
- 21 - G6 proportion voulue de tirages hors/dans le stimulus, dans z^1
- 22 - G7 nombre de sorties voulues avant d'atteindre le seuil ε
- 23 - Y9 indication de l'inspection des points.

Ensuite on introduira les N cardinaux des formateurs.

La morphologie est gardée dans un vecteur alphanumérique de 130 positions, soit un maximum de dix formateurs, chacun pouvant contenir au plus 12 homologues et le nom du formateur ; celui-ci est écrit dans la première position.

Les positions réservées à un formateur doivent, d'après cette forme de stockage, être toutes remplies, pour permettre au formateur suivant de se placer à l'endroit correct ; alors, si un formateur possède moins de 12 homologues, on remplira les positions qui restent avec des chaînes des caractères quelconques (dans l'exemple on a utilisé des "D").

L'appel des fonctions du programme

Les fonctions sont appelées à l'aide des commandes déjà explicitées ; aussitôt après le démarrage de MORPHO il émet le message

" A VOS ORDRES "

suivi d'un (?) au début de la ligne suivante, et attend une commande.

Si la commande donnée ne se trouve pas dans la liste acceptée par le programme il émettra les messages

"COMMANDE ERRONEE"

et après

"A VOS ORDRES"

Si on est au début du travail il faudra initialiser les paramètres on donnera alors la commande DEBUT.

A ce moment-là, il faut faire une remarque très importante :

L'écriture dans les fichiers n'est faite qu'au moment d'une sortie normale d'un programme (STOP ou CHAIN) ; de ce fait, on ne peut pas donner une commande dont l'exécution dépend de valeurs introduites par une autre commande donnée auparavant, au cours d'un même passage du programme, sauf si cette commande conduit à un chaînage.

On ne peut pas, par exemple, enregistrer des stimuli ou des blocages immédiatement après l'initialisation (car les pointeurs respectifs ne sont pas encore définis).

Après l'initialisation on doit donc appeler soit RANDL, soit CHALET ; il y a toujours un retour vers MORPHO à la fin d'une série de points, l'impression étant faite par ce dernier programme.

On imprime un maximum de quatre homologues par ligne, plus le nom du formateur ; de ce fait les solutions seront toujours en groupes de quatre, sauf le dernier qui pourra en avoir moins.

Après la fin de l'impression le programme sera bouclé sur le message

"A VOS ORDRES"

et il acceptera alors une nouvelle commande.

Messages relatifs aux diverses fonctions

Chaque fonction (correspondant chacune à une commande) a son propre jeu de messages destinés à orienter l'utilisateur. Ces messages ne sont pas facultatifs ; on peut néanmoins changer le programme pour les éliminer, si l'on veut.

DEBUT

La réponse est "INITIALISATION" et après "A VOS ORDRES"/(?)

REGSTIM

Immédiatement après la commande, le message suivant est émis :

"ENREGISTREMENT DES STIMULI"

suivi d'un point d'interrogation en début de la ligne suivante.

On doit alors taper les composantes du sous-assemblage choisi comme stimulus ; les positions vides seront remplies par des zéros, et tous les nombres tapés doivent être séparés par des virgules.

La lecture d'un nombre de variables moindre que celui de la liste de variables existant dans le programme n'est pas acceptée ; de ce fait,

comme la liste contient dix variables, on doit toujours introduire dix valeurs, même si la morphologie a moins de dix formateurs.

Exemple : Soit un sous-assemblage formé par

- le troisième homologue du premier formateur,
- le deuxième homologue du quatrième formateur, la morphologie ayant quatre formateurs.

Après l'introduction du stimulus la ligne aura l'aspect suivant :

? 3, 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0

Le bloc REGSTIM contient une boucle dont la sortie est contrôlée par l'utilisateur ; après l'introduction d'un stimulus, le programme demandera :

"ENCORE ?"

Si la réponse de l'utilisateur est

"OUI" la boucle sera fermée immédiatement après le message initial de la fonction ; de ce fait il ne sera pas répété et on aura seulement l'impression d'un point d'interrogation qui indique l'attente de la nouvelle entrée.

"NON" le programme attendra la désignation d'une nouvelle fonction ; le message "A VOS ORDRES"/(?) sera émis.

REGBLOQ

Le fonctionnement est exactement le même, le message initial de la fonction étant

"ENREGISTREMENT DES BLOCAGES"/(?).

ALTPAR

Cette fonction n'a pas de message initial ; le programme demande tout simplement

"INDEX ET VALEUR ?"

L'index est le nombre d'ordre du paramètre dont on veut changer la valeur (voir page 9/10).

L'index et la valeur désirée doivent être tapés sur la même ligne, séparés par une virgule.

La réponse du programme est aussi "ENCORE ?" et ainsi de suite.

Exemple : Si on veut porter à quatre le seuil du nombre de stimuli :

```
INDEX ET VALEUR ? 14, 4
ENCORE ? NON
A VOS ORDRES
?
```

ELSTIM

Le message initial est
"STIMULUS A ELIMINER ?"

L'utilisateur doit alors fournir le numéro d'ordre du stimulus qu'il veut éliminer.

Soit par exemple :
STIMULUS A ELIMINER ? 3

La réponse du programme est "ENCORE ?" et ainsi de suite.

Le programme déplace les stimuli placés après celui qui vient d'être éliminé, de façon à remplir les positions vidées ; de ce fait, leurs numéros d'ordre se trouveront diminués d'une unité, fait qui doit être pris en compte par l'utilisateur.

ELBLOQ

Le message initial est
"BLOCAGE A ELIMINER ?"
et le fonctionnement est égal à celui de la fonction précédente.

ECRSOL

Cette fonction est exécutée automatiquement après le chaînage de retour RANDL ou CHALET. Elle correspond à l'impression de la dernière série de solutions.

Elle peut être appelée directement par l'utilisateur, ce qui permettra d'obtenir des copies de cette série.

On peut aussi l'utiliser pour l'impression des k dernières solutions stockées dans un fichier ; pour cela il faudra donner au quatrième paramètre (voir liste) la valeur k. Cela doit être fait sur la commande DATA et non à l'aide d'ALTPAR.

La réponse est simplement l'impression que l'on a demandée.

RANDL

Cette commande a pour conséquence le chaînage avec le programme de même nom, donc l'exécution de la méthode de randomisation libre.

La méthode adaptative sera exécutée s'il y a au moins le nombre minimal de stimuli déjà emmagasiné ; autrement le programme exécutera la méthode non adaptative.

Dans ce dernier cas, il n'y aura que quatre messages possibles :

- si la méthode sort un point bloqué : "BLOCAGE"
- si la méthode sort un point déjà sorti, dans le cas où on n'admet pas de répétition : "REPETITION".

Chaque fois qu'un de ces messages est sorti, la valeur d'un compteur est incrémenté d'une unité ; si un de ces compteurs devient égal au nombre L de solutions par sortie, un troisième compteur est incrémenté d'une unité.

Si ce compteur devient à son tour égal à L, un message est émis :
"SEQUENCE IMPOSSIBLE"
et le programme s'arrête.

Cela constitue une sécurité contre un éventuel épuisement de l'ensemble produit, ce qui peut arriver s'il n'est pas trop grand ; on a considéré qu'après L^2 tirages non réussis la probabilité qu'il y ait un nombre déterminé de points non tirés dans l'ensemble produit soit assez basse.

Cette sécurité devient importante si on applique une mauvaise stratégie de pondération, selon laquelle les poids de certains homologues deviennent trop élevés par rapport aux autres homologues de même formateur ; la méthode tendrait alors à les répéter avec une fréquence élevée, ce qui amènerait des répétitions fréquentes des solutions.

Les compteurs des solutions bloquées et des répétitions n'ont pas leurs valeurs stockées et sont de ce fait remis à zéro (comme d'ailleurs toutes les variables en BASIC) lors du chaînage avec RANDL.

Le compteur général est stocké ; donc il prend en compte tous les échecs subis par la méthode pendant l'exécution.

Le quatrième message correspond au remplissage total des deux fichiers de points :

"PLUS D'ESPACE"

Il est sorti par IDSASS, chaque fois que l'on essaye d'enregistrer un nouveau point dans le deuxième fichier déjà rempli.

RANDL imprime aussi les coordonnées des points tirés avec succès. S'il y a un échec dans le tirage d'un point, la donnée des coordonnées sera remplacée par le message correspondant.

RANDL avec stratégies adaptatives

Le sixième paramètre (Y) est utilisé pour le choix d'une parmi deux stratégies possibles de la méthode adaptative :

- si $Y = 0$, le programme sortira un stimulus pour chaque point à tirer ;
- si $Y = 1$, le même stimulus sera utilisé pendant une sortie entière de points.

La seconde stratégie est la voie normale et elle doit en général être fixée par l'enregistrement de la valeur correspondante de Y sur le DATA.

En cas de changement celui-ci doit être fait à l'aide d'ALTPAR avant l'appel de RANDL.

Le neuvième paramètre (E2) indique la façon dont le stimulus doit être obtenu :

- si $E2 = 0$, le stimulus sera tiré au hasard par le programme ; celui émettra alors le message
"STIMULUS TIRE n" (n = numéro d'ordre du stimulus)
et sur la ligne suivante, les coordonnées du stimulus, suivies de la valeur courante de sa probabilité absolue de conditionnement ;
- si $E2 = 1$, le programme attend que l'utilisateur lui donne le numéro d'ordre du stimulus qu'il veut utiliser. Le message sera dans ce cas :

"STIMULUS CHOISI ?"

et le numéro d'ordre du stimulus voulu doit être tapé sur la même ligne.

Il convient d'éviter les valeurs

$Y = 0$ et $E2 = 1$

conjointement ; en effet, le programme demanderait un nouveau stimulus à chaque reprise.

Pour chaque nouveau stimulus le programme fera le calcul des paramètres à utiliser ; il émettra alors les messages :

"PARAMETRES"

"GAMMA" .XXX "OMEGA" .XXX "TETA0" .XXX "TETA1" .XXX

En accord avec la réponse du modèle pour chaque point on aura les messages :

"REPONSE CORRECTE"

ou "REPONSE INCORRECTE"

Lorsque le modèle est utilisé, après chaque changement du compteur général des échecs on aura le message :

"STIMULUS CHANGE"

Le paramètre E2 sera alors remis à zéro ce qui permettra le tirage d'un nouveau stimulus, avec les messages qui concernent cet événement.

Si le stimulus est dans l'état z^0 , un message sera imprimé après l'impression du point :

"PROB. CONDIR." .XXX

On aura ainsi la valeur courante de la probabilité absolue de changement d'état. Au moment de ce changement la valeur sortie est 1 et le message est supprimé à partir de ce moment-là.

Le dernier message avant le chaînage de retour est le suivant :

"CHOIX DE STIMULUS :?"

La valeur de E2 sera influencée par la réponse (OUI ou NON) ce qui permet de changer la stratégie pour le prochain passage du programme.

Il ne reste qu'à remarquer que l'appel de CHALET change la valeur du paramètre Y ; donc si on veut appeler RANDL après avoir utilisé CHALET il faudra utiliser ALTPAR pour rétablir la valeur de Y, faute de quoi RANDL ne fonctionne pas correctement.

CHALET

Après cette commande un chaînage a lieu avec le programme du même nom, ce qui permet l'exécution de la méthode du chemin aléatoire.

Il y a deux options pour le début du chemin, en accord avec la valeur du paramètre IO (C1) :

- si C1 = 0 : début au point de niveau le plus élevé ;
- si C1 ≠ 0 : début au dernier point tiré.

La valeur de C1 doit être toujours initialisée à zéro.

Si RANDL a déjà été appelé, on peut utiliser le dernier point tiré pour y prendre le départ de CHALET ; il suffit de changer la valeur de C1 à l'aide d'ALTPAR.

Si CHALET est appelé le premier, il doit toujours commencer par le point de niveau le plus élevé.

En l'absence du modèle (méthode non-adaptative) il y a les trois messages possibles suivants :

- si le pas unitaire tombe sur un point déjà sorti (en cas d'inspection) :
"INTERDITE"

La direction correspondante sera interdite et le programme fera le tirage d'une nouvelle direction de saut.

- si le deuxième fichier de points vient d'être rempli :
"PLUS D'ESPACE"

- si toutes les directions possibles pour le saut ont été interdites :
"NOUVEAU DEPART"

Le programme fera appel à RANDL pour obtenir un nouveau point de départ tiré au hasard ; après le tirage et l'inspection (obligatoire pour les blocages s'il y en a ; facultative pour les points) CHALET reprendra le travail en partant du point fourni par RANDL.

Si le modèle est utilisé on aura pour le paramètre E2 les mêmes options disponibles dans RANDL ;

- si E2 = 0 : "STIMULUS TIRE n"/(coordonnées)
- si E2 = 1 : "STIMULUS CHOISI ?" (réponse de l'utilisateur)

CHALET n'admet qu'un seul stimulus par sortie, le tirage d'un stimulus par point n'ayant pas de sens.

On aura aussi les messages :

"PARAMETRES"

"GAMMA" .XXX "OMEGA" .XXX "TETAO" .XXX "TETA1" .XXX

et aussi

"REPONSE CORRECTE"

"REPONSE INCORRECTE"

et "PROB. CONDITIONNEMENT .XXX"

Si le chemin arrive à une impasse le programme cherchera tout d'abord les possibilités existantes dans les directions interdites en fonction de la stratégie du modèle ; il les examinera et y cherchera une direction de saut. Cela équivaut à abandonner les contraintes établies par la présence du stimulus ; donc il donnera le message

"STIMULUS ABANDONNE"

Si cette manœuvre réussit le processus se poursuivra normalement avec le même stimulus ; autrement le programme cherchera un nouveau point de départ. Il le demandera alors à RANDL ; il émettra le message

"NOUVEAU DEPART"

et exécutera un chaînage dynamique avec RANDL. Celui-ci lui fournira un point à partir duquel un nouveau chemin va démarrer, le stimulus visé étant toujours le même.

Bien entendu, si le modèle n'est pas utilisé il n'y aura pas d'étape préalable correspondante à l'abandon du stimulus ; le programme cherchera directement un nouveau point de départ.

Le dernier message émis par CHALET (si le modèle est utilisé) sera aussi :

"CHOIX DE STIMULUS ?"

La réponse (OUI ou NON) sera prise en compte lors du passage suivant, le schéma utilisé étant le même de RANDL.

SUITE

Cette commande appellera la même méthode que celle qui aurait été utilisée lors du passage précédent, soit par une commande RANDL ou CHALET, soit par une autre commande SUITE.

Elle peut être utilisée après REGSTIM, REGBLOQ, ELSTIM, ELBLOQ, ECRSOL ou ALTPAR ; la méthode appelée sera toujours celle qui aurait été utilisée avant l'exécution de ces fonctions, avec la même stratégie. La seule exception concerne le changement du paramètre E2 par ALTPAR ; après le chaînage ce sera la nouvelle valeur qui sera prise en compte, ce qui changera la stratégie de choix de stimulus si le modèle est utilisé.

Nous rappelons encore que l'arrêt commandé de l'exécution (CONTROL/SHIFT/P) ne permet pas l'actualisation des fichiers ; donc s'il y a eu des changements de valeur des variables stockées ces changements seront perdus.

Instructions pour le programme FORTRAN

Les instructions qui suivent sont destinées au travail pas à pas sur le programme sous le système conversationnel CP/CMS. La préparation du programme pour un travail automatique n'offre aucune difficulté et sera brièvement exposée à la fin.

Nous ne considérons pas les étapes préalables d'introduction du programme, appel, etc... ; nous allons partir du point où l'utilisateur a le programme et son module chargeable stockés dans le disque permanent de sa machine virtuelle.

On aura alors les étapes suivantes à exécuter :

- introduction des données : toutes les données concernant le problème doivent être introduites à l'aide des commandes DATA de BLOCK DATA du programme.

Un problème qui va être traité manuellement aura besoin des données suivantes :

- les paramètres, y compris les variables de choix utilisées pour des changements de stratégie ou pour l'introduction de nouvelles fonctions. On peut y distinguer deux classes :
 - les paramètres accessibles à l'utilisateur pendant l'exécution du programme : ce sont ceux du vecteur INTR du BLOCK DATA. Les paramètres dont la valeur initiale doit être toujours zéro sont marqués dans la liste qui suit avec un astérisque. L'identificateur est celui utilisé dans le programme principal.

Ordre	Identificateur	Fonction
1	KL	compteur des solutions dans une sortie (*)
2	NEST	compteur des stimuli (*)
3	NBLOQ	compteur des blocages (*)
4	NSTOCK	compteur total des solutions (*)

5	N	nombre de formateurs
6	L	nombre de solutions par sortie
7	MET	choix de méthode et stratégie
8	KCH	choix de forme de sélection de stimulus
9	JPON	indicateur de pondération
10	MINST	nombre minimal de stimuli exigé par le modèle
11	JORIG	indicateur d'inspection des points tirés
12	NIMPR	nombre de solutions à imprimer par ligne
13	NROT	multiplicateur de départ pour les nombres aléatoires
14	KAUT	indicateur d'automatisation (*)
15	KOORD	indicateur d'impression des coordonnées des points
16	MESS	indicateur d'impression des messages
17	NDEP	contrôle de début du chemin aléatoire
18	BLTIR	nombre de sorties voulues avant d'atteindre le seuil ϵ
19	SCOND	seuil de la probabilité absolue de z^0 après BLTIR sorties
20	PROPZ	proportion voulue de tirages hors/dans le stimulus, dans z^0
21	PROPI	proportion voulue de tirages hors/dans le stimulus, dans z^1
22	OMEGA	probabilité de réponse correcte dans z^1
23	GAMMA	probabilité de réponse correcte dans z^0
24	TETAZ	probabilité absolue de transition après une réponse incorrecte
25	TETAL	probabilité absolue de transition après une réponse correcte.

Ces paramètres sont accessibles à l'utilisateur à l'aide de la fonction ALTPAR ; les valeurs de certains d'entre eux seront considérés comme étant des options par défaut pendant l'exécution.

Les indicateurs (9, 11, 14, 15 et 16) ne donnent accès aux fonctions correspondantes que si ses valeurs sont non-nulles ; donc, pour le travail pas à pas, l'indicateur KAUT doit être égal à zéro.

- les paramètres non accessibles à l'utilisateur pendant l'exécution du programme sont ceux des étiquettes 1, 3, 4 et 5 du COMMON étiqueté.

IX, NO : ce sont deux positions où sont stockées les valeurs successives des restes de la sous-routine RANDU. NO reçoit la valeur NROT au début de l'exécution.

KVSOM : il s'agit d'un vecteur utilisé par la sous-routine de codage des points tirés ; ses N - 1 premières composantes sont égales à 1 et la N^{ième} est égale à zéro.

POND : c'est la matrice des poids des homologues ; on n'a pas besoin de l'initialiser si la pondération n'est pas utilisée.

XLAM : vecteur des probabilités de conditionnement des stimuli après chaque essai : ses composantes doivent être nulles au départ.

OUI : variable alphanumérique de valeur 'OUI _'

KONSOL : indicateur d'utilisation de la console (non-nul si la console est utilisée)

NFT : compteur global d'échecs pour la randomisation libre (zéro au départ)

KN : compteur des sorties avant le changement du stimulus pour le chemin aléatoire (zéro au départ)

KARD : vecteur des cardinaux des formateurs.

- la morphologie va être stockée dans la matrice alphanumérique MORF (52, 10). Chaque formateur doit y occuper une colonne entière ; les positions non utilisées doivent être remplies par des chaînes de caractère quelconques (par exemple des blancs). On rappelle qu'une variable alphanumérique FORTRAN IV/360 équivaut à 4 caractères ; d'autre part la matrice réserve 4 positions (soit 16 caractères au plus) pour

chaque homologue ; donc on doit remplir de blancs les positions non utilisées après chaque homologue.

Exemples :

AIR n'occupe qu'une seule position ; on doit écrire 'AIR', 3 * ' ' '
RESSORT occupe deux positions ; on doit écrire 'RESSORT', 2 * ' ' '

Un formateur contenant six homologues dont le dernier est 'RESSORT' laissera $6 \times 4 = 24$ positions libres dans sa colonne ; avec les deux qui restent après 'RESSORT', on doit écrire 'RESSORT', 26 * ' ' '.

L'appel des fonctions du programme

Il y a deux types différents de fonctions :

- pour certaines fonctions l'appel n'est valable qu'une seule fois, c'est à dire qu'il doit être répété si on veut utiliser la fonction plus d'une fois. Dans ce cas les paramètres de la fonction seront introduits en même temps que la commande,
- pour d'autres fonctions il suffit de faire un appel ; après l'exécution de la fonction le programme émettra le message

"OPTION POUR REPETITION "

La réponse OUI permettra d'accéder directement à la fonction une nouvelle fois.

Pour toutes les fonctions, l'appel peut être fait à l'aide des quatre premiers caractères de la commande, ou du mot entier si on veut.

Le premier message émis par le programme est

"S'AGIT-IL D'UNE CONTINUATION ?"

Si on veut reprendre le travail d'une séance précédente, il faut répondre OUI ; alors le programme lira dans ses fichiers les valeurs de tous les paramètres, qui remplaceront ceux de l'initialisation.

Il émettra alors le message

"LECTURE DES FICHIERS FINIE"

Dans le cas contraire il n'y aura pas de lecture ni de message et le programme travaillera avec les valeurs par défaut des paramètres.

Il y aura ensuite l'impression de la morphologie :

"MORPHOLOGIE ORIGINALE"

(titre des formateurs et listes des homologues).

Le programme demandera alors une commande :

"SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES"

Si la commande donnée ne se trouve pas dans la liste acceptée par le programme il émettra le message

"COMMANDE ERRONNEE"

et il y aura une répétition du message précédent.

Il n'y a aucune restriction, ni sur l'ordre, ni sur le nombre de commandes qui peut être donné au cours d'une séance.

Messages relatifs aux diverses fonctions

REGSTIM

La réponse du programme est

"ENREGISTREMENT DE STIMULI"

suivie d'un saut de ligne. Le programme reste alors en attente.

Le format d'entrée est 10I3.

Il s'agit d'une fonction de deuxième type ; après l'introduction le programme émet le message

"STIMULUS NO. XX" (composantes)

suivi de

"OPTION POUR REPETITION"

et le cycle sera répété autant de fois que l'on donne la réponse OUI.

REGBLOQ

Le fonctionnement est le même que celui de REGSTIM ; la réponse du programme est

"ENREGISTREMENT DE BLOCAGES"

Le format d'entrée est aussi 10I3 et le message de confirmation est

"BLOCAGE NO. XX" (composantes)

suivi de

"OPTION POUR REPETITION"

ALTPAR

Lors du premier appel le programme donne les réponses suivantes :

"CHANGEMENT DE PARAMETRES"

"INDEX ET VALEUR"

(8) 2 (8)

L'index est le nombre d'ordre du paramètre dans la liste auparavant donnée.

Pour rendre plus commode l'écriture, l'index et la valeur du paramètre à modifier doivent être écrits sous forme de nombres réels, ce qui permet de les écrire n'importe où dans les parenthèses.

Pour les paramètres réels la précision admise est de 3 décimales.

Cette fonction est aussi du deuxième type ; après l'introduction des données le programme donnera les messages

"PARAMETRE CHANGE" XX "VALEUR" XXXX

"OPTION POUR REPETITION"

Si la réponse est OUI le programme émet le message

"INDEX ET VALEUR"

suivi d'un saut de ligne et d'une nouvelle paire de parenthèses.

ELSTIM

Ce message est du premier type, le numéro d'ordre du stimulus que l'on veut éliminer doit donc être fourni avec la commande.

Le format d'entrée est

(A4, 3X, I2)

c'est à dire que les deux formes

ELSTIM 02

et

ELST 02

sont valables.

La réponse est

"STIMULUS ELIMINE" (composantes)

et le programme demande une nouvelle commande.

ELBLOQ

C'est aussi un message du premier type, utilisant le même format d'entrée ; les deux formes

ELBLOQ 01

et

ELBL 01

sont valables.

La réponse est

"BLOCAGE ELIMINE" (composantes)

et le programme demande une nouvelle commande.

ECRSOL

Cette fonction est exécutée automatiquement lors du retour de RANDL ou CHALET, pour l'écriture des solutions tirées.

Lors d'un appel direct elle est une fonction du deuxième type ; elle est pourtant particulière, car on doit donner en même temps que la commande le nombre de solutions que l'on veut imprimer (99 au plus) et le numéro d'ordre de la première solution que l'on veut imprimer.

Le format d'entrée est

(A4, 3X, I2, IX, I3)

donc les formes suivantes sont valables :

ECRSOL 30 242 (30 solutions à partir de la 242e)

ou ECRS 3 10 025 (10 solutions à partir de la 25e)

Après l'impression le programme donnera le message "OPTION POUR REPETITION".

DISPLAY

On peut connaître à l'aide de cette fonction les valeurs des paramètres accessibles et aussi celles des cardinaux des formateurs.

Il s'agit d'une fonction du premier type ; on donnera alors au programme la commande, le nombre de paramètres que l'on veut imprimer et le numéro d'ordre du premier paramètre que l'on veut imprimer.

Les formes suivantes sont valables

DISPLAY 04 002 (impression de 4 paramètres à partir du 2e)

ou DISP 3 04 002

Les valeurs des cardinaux seront obtenues en écrivant

DISPLAY 3 001 ou DISP 6 001

La liste complète des paramètres est obtenue en écrivant DISPLAY ou DISP tout court.

Le programme imprime alors la liste demandée, sous le titre "PARAMETRES DU PROBLEME" ; chaque valeur étant précédée du numéro d'ordre du paramètre et d'une note explicative ; à la fin de la liste, si elle est complète, il y aura aussi quelques explications d'ordre général.

Cette liste peut être trouvée dans l'exemple d'utilisation à l'Appendice IV.

Le premier paramètre changeable (KL) n'est pas accessible à DISPLAY.

Après l'impression, le programme demandera une nouvelle commande.

RANDL

Cette commande entraîne l'appel de la sous-routine de même nom qui exécute la méthode de randomisation libre. La stratégie sera adaptative si le nombre de stimuli déjà enregistrés (NEST) est au moins égal au seuil minimal (MINST).

Etapes et messages de la méthode non-adaptative

Le programme fait directement le tirage d'un point et-aussitôt après l'inspection de blocages (obligatoire s'il y en a). Si le point est bloqué il y aura un nouveau tirage, aucun message n'étant émis.

Dans le cas contraire, le programme fera l'inspection des points (facultative selon la valeur du paramètre JORIG). Si le point est déjà sorti il y aura un nouveau tirage, aucun message n'étant émis.

Les échecs arrivés pendant une sortie sont pourtant enregistrés par les compteurs respectifs, NFBL et NFORIG. Si on enregistre un total d'au moins L échecs dans une sortie (soit au moins 1 par point tiré) le compteur global NFT aura sa valeur accrue d'une unité, cet enregistrement étant permanent. Cet événement est suivi de l'émission du message

"L TIRAGES NON REUSSIS, COMPTEUR = XX"

Si la valeur du compteur global devient égale à L il y a l'émission du message

"SEQUENCE IMPOSSIBLE" (*)

et, aussitôt après, l'émission d'un message de la sous-routine STFIC

"STOCKAGE EFFECTUE" (*)

et le programme s'arrête, CMS émettant le message

"IHCOO21 STOP 0" (*)

D'autre part, si le tirage du point a réussi, il y aura l'impression de ses coordonnées et ensuite une option pour l'appel de la sous-routine de jugement APDEL (en accord avec la valeur du paramètre de pondération JPON).

Si le point est le dernier de la sortie il y aura un retour vers MORPHO pour l'impression des solutions ; autrement le programme sortira un nouveau point.

Etapes et messages de la méthode adaptative

Il y a deux stratégies utilisables dont le choix dépend de la valeur du paramètre MET :

- si MET = 1 un nouveau stimulus sera tiré pour chaque point ;
- si MET = 2 le même stimulus sera utilisé pour tous les points de la sortie (voie normale).

La commande sera donnée sans paramètre si l'option par défaut pour la valeur de MET correspond à la stratégie que l'on veut utiliser ;

autrement la nouvelle valeur doit être introduite avec la commande, suivant le format

(A4, 3X, I2)

Donc si MET a été initialisé à la valeur 1, on écrira
RANDL, OU RAND pour la première stratégie
RANDL 2 02 ou RAND 3 02 pour la deuxième stratégie

Si MET a été initialisé à la valeur 2, on écrira
RANDL, ou RAND pour la deuxième stratégie
RANDL 2 01 ou RAND 3 01 pour la première stratégie

En mode conversationnel, avec la deuxième stratégie, le programme demandera tout d'abord si l'utilisateur veut choisir le stimulus :

"CHOIX DE STIMULUS" (*)

Si la réponse est OUI il y aura l'émission du message

"STIMULUS A UTILISER ?" (*)

Le numéro d'ordre du stimulus voulu doit être écrit en format I2. La réponse du programme est

"STIMULUS CHOISI" (n° d'ordre)

Si l'utilisateur ne veut pas choisir le stimulus le programme en sortira un au hasard ; il émettra alors le message

"STIMULUS TIRE" (n° d'ordre)

La première stratégie n'admet aucun choix de stimulus par l'utilisateur ; donc ce dernier message sera émis directement.

Chaque fois qu'un nouveau stimulus est pris en compte, le programme refait le calcul des paramètres du modèle et les fournit :

"PARAMETRES DU MODELE"

"GAMMA" .XXX "OMEGA" .XXX "TETAZ" .XXX "TETA1" .XXX

Le programme fait pour chaque point le choix aléatoire du type de réponse et émet un des deux messages suivants :

"REPONSE INCORRECTE"

"REPONSE CORRECTE"

Le tirage du point est fait ainsi qu'immédiatement après les deux inspections dans les mêmes conditions que celle de la méthode non-adaptative (voir celle-ci).

Les coordonnées du point sont imprimées ; aussitôt après il y aura l'option pour l'appel d'APDEL et ensuite le choix aléatoire pour le changement, ou non, d'état.

Pendant que l'état est z^0 le message suivant sera émis :

"PROBABILITE DE CONDITIONNEMENT" .XXX

Au moment où la transition d'état a lieu la valeur imprimée sera 1 ; après le message ne sera plus émis.

Tous les messages, sauf ceux marqués avec un (*), peuvent être éliminés en donnant la valeur zéro au paramètre MESS.

De même l'impression des coordonnées peut être supprimée en rendant le paramètre KOORD égal à zéro.

CHALET

Cette commande entraîne l'appel de la sous-routine de même nom qui exécute la méthode du chemin aléatoire. La stratégie sera adaptative si le nombre de stimuli (NEST) est au moins égal au seuil MINST.

Le départ

Il y a deux possibilités :

- départ libre : la position est fonction de la valeur du paramètre NDEP.

- si NDEP = 0, le chemin démarre au point de plus haut niveau ;
- si NDEP \neq 0, le chemin démarre au dernier point tiré.

Après l'appel de RANDL ou CHALET la valeur de NDEP est toujours égale à 1 ; le dernier point sera donc repris.

- départ choisi : le point de départ est choisi par l'utilisateur ce qui peut être plus intéressant, surtout si on choisit aussi le stimulus à utiliser.

On introduit un point de départ à l'aide des commandes
CHALET 01 ou CHALET 3 01

Cela n'a d'effet que si NDEP \neq 0.

La réponse est

"CHOIX DE POINT DE DEPART"

et le programme attend les coordonnées du point, qui doivent être introduites suivant le format 10I3.

Le point de départ choisi n'est pas pris en compte par le compteur de la sortie ; donc il y aura un point de plus à l'impression.

Étapes et messages de la méthode non-adaptative

Le programme fait l'inspection des directions possible de saut à partir du dernier point et en fait ensuite le tirage d'une parmi les

directions admises. Le saut est fait et le nouveau point est soumis à l'inspection des points, si elle doit avoir lieu (celle de blocage n'est pas nécessaire car les blocages sont déjà pris en compte par INSPEC).

Si le point est déjà sorti il y aura le message
"POSITION INTERDITE"

S'il n'y a pas de direction utilisable pour le saut il y aura le message

"NOUVEAU DEPART" (*)

et un nouveau point de départ sera tiré ; ce travail est fait par RANDL.

Si le saut est réussi il y aura une option pour l'appel de APDEL après quoi les coordonnées du point seront imprimées.

Si L points ont été sortis, il y aura le retour vers MORPHO pour l'impression ; autrement il y aura une nouvelle inspection pour l'exécution d'un nouveau saut.

Etapes et messages de la méthode adaptative

Dans une séquence normale il n'y aura de sélection d'un nouveau stimulus que si BLTIR sorties ont été faites. C'est à dire que l'on admet que le chemin aura BLTIR * L étapes avant d'arriver au stimulus, et que la probabilité a priori de l'état z^0 au moment de l'arrivée sera SCOND (soit ϵ ; voir l'étude probabiliste).

Au début d'une sortie où il doit y avoir la sélection d'un nouveau stimulus le programme émettra le message

"CHOIX DE STIMULUS" (*)

Si la réponse est OUI le programme demandera, après l'inspection des directions

"STIMULUS A UTILISER ?" (*)

Le numéro d'ordre du stimulus voulu doit être écrit suivant le format I2. La réponse est

"STIMULUS CHOISI" (n° d'ordre)

Si la réponse n'est pas OUI le programme sortira un stimulus au hasard et émettra le message

"STIMULUS TIRE" (n° d'ordre)

Le calcul des paramètres est fait à chaque sortie et il sera suivi des messages

"PARAMETRES DU MODELE"

"GAMMA" .XXX "OMEGA" .XXX "TETAZ" .XXX "TETA1" .XXX ;

aussitôt après le choix aléatoire du type de réponse, il y aura l'un des deux messages

"REPONSE INCORRECTE"

"REPONSE CORRECTE"

Les directions correspondant à la réponse non choisie seront alors interdites et la direction de saut sera choisie parmi celles correspondant à la réponse choisie.

Si toutes les directions sont interdites le programme émettra le message

"STIMULUS ABANDONNE"

après lequel les positions qui ont été interdites comme conséquence de l'étape précédente seront examinées.

Si cela n'aboutit pas à une direction de saut, il y aura le message

"NOUVEAU DEPART" (*)

et un nouveau point de départ sera demandé à RANDL.

Il y aura ensuite l'inspection des points et le message

"POSITION INTERDITE"

si le point est déjà sorti.

Après l'option pour l'appel d'APDEL il y aura le choix aléatoire de la transition ou non d'état. Le programme donnera alors le message "PROBABILITE DE CONDITIONNEMENT" .XXX tant que la transition n'aura pas eu lieu, et encore une fois après la transition.

Si la sortie n'est pas la dernière avec le stimulus considéré il y aura le retour vers MORPHO ; autrement le programme ramènera à zéro les probabilités de conditionnement des stimuli :

- si le stimulus utilisé a été choisi, sa probabilité de conditionnement ne sera pas changée ;

- si le stimulus utilisé a été tiré par le programme, sa probabilité de conditionnement sera remise à zéro avec celles des autres stimuli.

Tous les messages à l'exception de ceux marqués avec un (*) pourraient être éliminés en rendant MESS égal à zéro.

De même, en rendant KOORD égal à zéro, on élimine l'impression des coordonnées.

SUITE

Cette commande permet la reprise d'une méthode après l'exécution d'autres fonctions ; dans le cas de RANDL la stratégie utilisée sera la même que celle qui a été utilisée la dernière fois (on rappelle que si la commande RANDL est utilisée sans paramètre dans une telle situation le programme prendra l'option par défaut).

C'est une commande du premier type, tandis que RANDL et CHALET sont du deuxième type.

STOP

C'est la commande utilisée pour l'arrêt du programme ; avant celui-ci la sous-routine STFIC est appelée pour stocker les variables du programme dans des fichiers ; la sous-routine émettra à la fin de ce travail le message

"STOCKAGE EFFECTUE"

et le programme s'arrêtera ; après l'arrêt il y aura le message de CMS :

"IHCOO21 STOP 0"

L'utilisation du programme en mode automatique

Le mode automatique peut être utilisé soit sur console, soit en batch-processing (OS/360 dans notre cas). Pour cela on doit donner au paramètre KAUT une valeur différente de zéro.

Dans ce mode les commandes du premier type doivent être toujours être données autant de fois que l'on veut les exécuter ; c'est donc le cas de ELSTIM, ELBLOQ, ECRSOL, DISPLAY et SUITE ; étant donnée son application, cette dernière commande n'a pas beaucoup d'utilité en mode automatique.

D'autre part les commandes du deuxième type permettent une exécution répétitive (jusqu'à 999 fois consécutives chacune). Pour cela, la sous-routine OPTION lit le nombre voulu de répétitions dont la valeur est affectée à KAUT. Cette lecture a lieu après la première exécution de la fonction commandée.

Exemple : S'il faut introduire trois stimuli, l'ordre des cartes (ou des lignes, si on travaille sur console) doit être le suivant :

REGSTIM

(coordonnées du premier stimulus - format 10I3)

003 (valeur de KAUT - format I3)

(coordonnées du deuxième stimulus)

(coordonnées du troisième stimulus)

La même séquence est valable pour REGBLOQ et ALTPAR.

Sur console, la lecture de KAUT est précédée du message
"NOMBRE DE CYCLES VOULU"

En ce qui concerne RANDL, si une option est spécifiée (RANDL 1 ou 2) cette option sera valable pour toutes les répétitions.

CHALET 1 (avec choix de point de départ) ne sera exécutée que la première fois ; dans les répétitions le chemin prendra pour départ dans chaque sortie le dernier point de la sortie précédente.

Il n'y a pas de possibilité de choisir un stimulus en mode automatique ; tous les stimuli seront tirés au hasard par la sous-routine TSTIML.

Dans CHALET, le stimulus utilisé n'a pas sa probabilité de conditionnement remise à zéro jusqu'à la fin de son utilisation.

Le message
"OPTION POUR REPETITION"
est supprimé.

Le mode automatique en batch-processing

Dans ce cas le paramètre KONSOL aura la valeur zéro ; cela entraîne les différences suivantes :

- l'impression de la morphologie encadrée par des lignes d'astérisques, sous le titre

"RECHERCHE MORPHOLOGIQUE" ;

- la lecture d'une ligne titre de 80 caractères au plus ; cette ligne est imprimée après le titre ci-dessus, après le sous-titre

"PROBLEME ETUDIE :"

- un saut de page après l'impression de la morphologie ;

- l'élimination des messages suivants :

"S'AGIT-IL D'UNE CONTINUATION ?"

"SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES"

"STIMULUS A UTILISER ?"

"OPTION POUR REPETITION"

"NOMBRE DE CYCLES VOULU"

les parenthèses sorties par ALTPAR.

- l'impression de la commande donnée (sous forme abrégée) avant l'exécution.

Le choix des paramètres δ_0 et δ_1 de la randomisation libre adaptative

Les proportions de réponses incorrectes et correctes dans l'état z^0 doivent être choisies par l'utilisateur; Ce choix n'est pourtant entièrement libre : nous avons vu que l'étude markovienne ne prend en compte que σ , ce qui oblige à spécifier la contribution des deux termes de σ pour la valeur de celui-ci.

On rappelle que

$$\sigma = \gamma\theta_1 + (1 - \gamma)\theta_0$$

Dans cette expression on peut toujours dire que

$$k\gamma\theta_1 = (1 - \gamma)\theta_0 \quad k > 0$$

Alors

$$\theta_1 = \frac{\sigma}{(k+1)\gamma} \quad \text{et} \quad \theta_0 = \frac{\sigma}{\left(\frac{1}{k} + 1\right)(1-\gamma)}$$

θ_0 et θ_1 étant des probabilités, on doit avoir toujours

$$\left(1 + \frac{1}{k}\right) (1 - \gamma) \geq \sigma \quad , \quad \text{d'où} \quad \gamma \leq \frac{1+k(1-\sigma)}{k+1} \quad (1)$$

$$(k+1)\gamma \geq \sigma \quad , \quad \text{d'où} \quad \gamma \geq \frac{\sigma}{k+1}$$

mais on a

$$\gamma = \frac{q - \delta_0 p}{q(\delta_0 + 1)}$$

d'où en considérant les valeurs de p et q,

$$p = \frac{\mu'}{\mu} \quad , \quad q = 1 - \frac{\mu'}{\mu}$$

vient

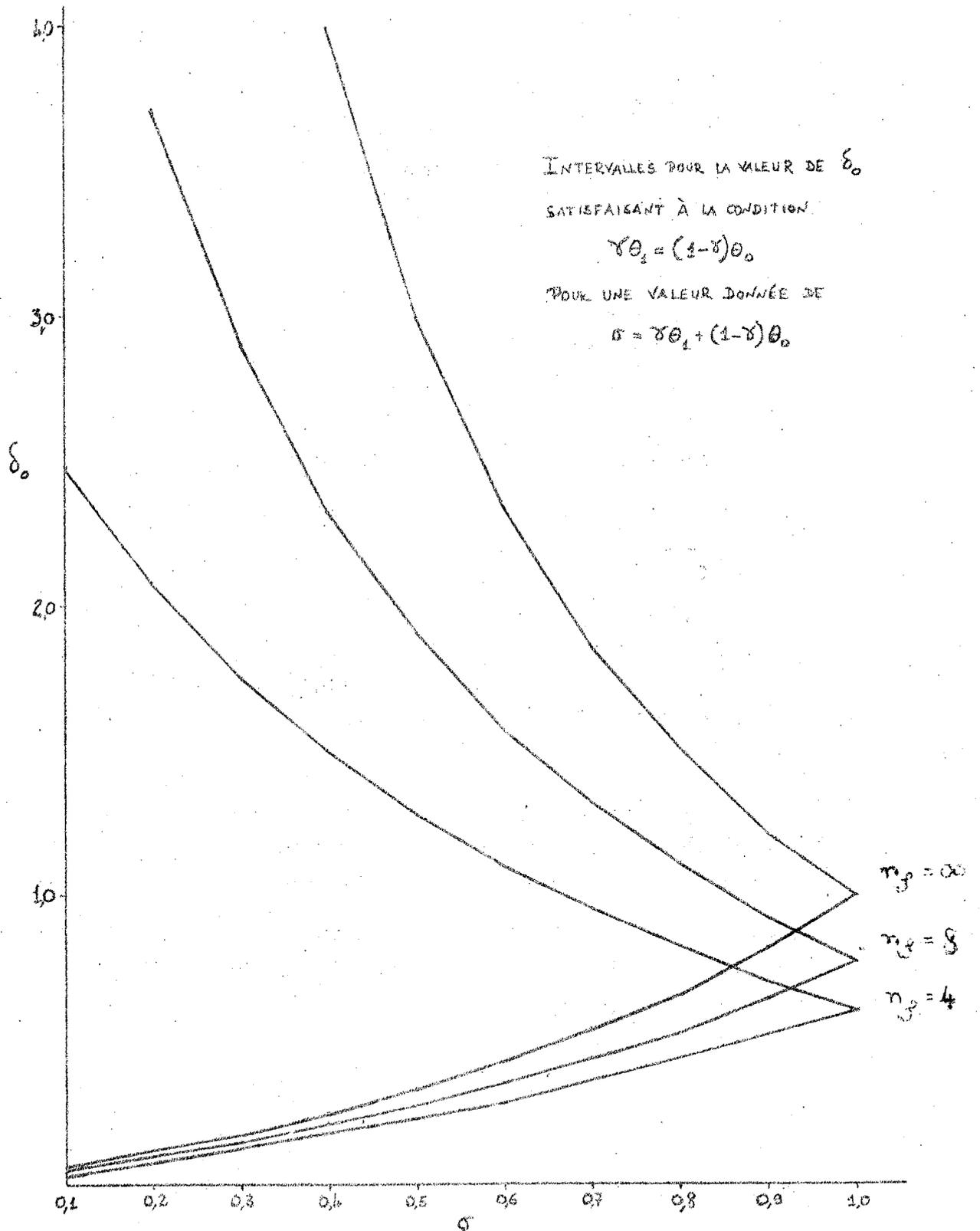
$$\gamma = \frac{\frac{\mu}{\mu'} - 1 - \delta_0}{\left(\frac{\mu}{\mu'} - 1\right)(\delta_0 + 1)}$$

mais

$$\frac{\mu}{\mu'} = \prod_{F_i \in \mathcal{J}_s} n_i = n_{\mathcal{J}_s} \quad \text{soit le nombre d'éléments de la partition } \mathcal{J}$$

En substituant dans les expressions (1) on obtient pour δ_0 :

$$\frac{k\sigma(n_{\mathcal{J}_s} - 1)}{[1+k(1-\sigma)]n_{\mathcal{J}_s} + k\sigma} - \delta_0 = \frac{(n_{\mathcal{J}_s} - 1)(k+1-\sigma)}{\sigma n_{\mathcal{J}_s} + (k+1-\sigma)} \quad (2)$$



Nous avons choisi :

$$k = 1$$

La valeur minimale de n est 4 puisqu'on ne considère que des sous-morphologies ayant 2 formateurs au moins ; d'autre part les formateurs ont toujours 2 éléments au moins.

On aura alors

$$\frac{3\sigma}{5+3(1-\sigma)} \leq \delta_0 \leq \frac{3(2-\sigma)}{5-3(1-\sigma)}$$

D'autre part, si n croît indéfiniment on aura

$$\frac{\sigma}{2-\sigma} \leq \delta_0 \leq \frac{2-\sigma}{\sigma}$$

Pour une valeur donnée de σ , on aura des valeurs plus petites que 1 pour θ_0 et θ_1 si δ_0 satisfait à l'inégalité (2) ; on aura donc intérêt à choisir δ_0 de façon à satisfaire (2).

On voit sur le graphe que pour $\sigma = 1$ il n'y a qu'une valeur utilisable de δ_0 ; mais pour $\varepsilon = 0,1$ on obtient souvent $\sigma < 0,5$; donc il y aura un intervalle assez convenable pour la valeur de δ_0 dans la plupart des cas. Toutefois, si on se trompe dans sa spécification, le sous-programme RANDL a des dispositifs de sécurité pour éviter des valeurs de θ_0 et θ_1 plus grandes que 1.

La valeur de δ_1 doit en général être moindre que celle de δ_0 , puisqu'on espère obtenir, dans la plupart des cas plus de réponses correctes dans z^1 que dans z^0 ; δ_1 n'est pourtant pas lié à σ et la seule contrainte qui existe est celle qui vient d'être exposée.

Le codage et le décodage des points

On a utilisé pour ce travail une bijection de l'ensemble produit morphologique, muni de la relation d'ordre total lexicographique, avec l'ensemble des entiers positifs, muni de la relation de domination.

Pour une morphologie dont les formateurs ont pour cardinaux

$$n_1, n_2, \dots, n_r$$

on aura pour chaque point donné

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_r)$$

$$n(a) = \sum_{i=1}^{r-1} \left[(a_i - 1) \prod_{j=i+1}^r n_j \right] + a_r$$

et, pour chaque n donné,

$$a_i = I \left[\frac{\rho(a_{i-1})}{\prod_{j=i+1}^r n_j} \right] + 1, \quad a_r = \rho(a_{r-1}) \quad \text{si } \rho(a_{k-1}) \neq 0$$

$$a_i = n_i \quad \text{si } \rho(a_{i-1}) = 0$$

où $\rho(a_{k-1})$ est le reste de la division dont le quotient est a_k ; en particulier on a

$$\rho(a_0) = n(a)$$

$I(k)$ est le plus grand entier contenu dans k .

Exemple : Soit le point (3, 1, 3, 2) dans une morphologie dont les cardinaux des ensembles sont (5, 3, 4, 3) ; on aura

$$n(a) = (3-1) 3.4.3 + (1-1) 4.3 + (3-1) 3 + 2 = 80$$

donc ce point est le 80e dans l'ordre total lexicographique.

Réciproquement on aura

$$a_1 = I \left[\frac{80}{3.4.3} \right] + 1 = 3, \quad a_2 = I \left[\frac{8}{4.3} \right] + 1 = 1, \quad a_3 = I \left[\frac{8}{3} \right] + 1 = 3$$

et le dernier terme a_4 est le reste de cette dernière division, soit

$$a_4 = 2$$

On a donc

$$a = (3, 1, 3, 2)$$

Les algorithmes qui exécutent ce travail sont contenus dans la sous-routine KOD.

Le point de départ de CHALET dans la projection-stimulus

Il se peut qu'un point de départ utilisé par CHALET appartienne déjà à la projection-stimulus. Dans ce cas, le calcul de γ ne saurait pas être fait car il aboutirait à une valeur négative.

D'autre part, on a cherché à associer l'entrée dans le stimulus à l'état de conditionnement z^1 . Il est donc naturel de considérer dans le cas en question

$$\gamma = \omega$$

ce qui conduirait à un chemin analogue à celui qui serait obtenu si le chemin arrivait à ce point, venu de l'extérieur, et s'il subissait la transition d'état à ce moment.

APPENDICE III - EXEMPLES D'APPLICATION

Nous présentons ici quelques exemples d'utilisation de quelques méthodes de recherche morphologique ; malheureusement il n'a pas été possible de réaliser une séance avec ordinateur, car celui-ci n'était pas disponible aux moments où on disposait d'un groupe de recherche.

Nous avons donc choisi un exemple automatisable, c'est à dire une morphologie dont les critères de qualité des solutions pouvaient être évalués par des tests numériques ou logiques, et cette morphologie a été examinée à l'aide de la méthode de randomisation libre adaptative.

Tout d'abord, pourtant, on présentera quelques exemples de recherches effectuées à l'aide des méthodes non-adaptatives ; ce travail a été fait au Centre d'Heuristique Appliquée de l'Association Lyonnaise d'Ingénieurs-Conseils (ALGOE) sous la direction de M. KAUFMANN.

La finalité de ce travail était didactique ; on y entraînait des ingénieurs et des cadres supérieurs d'entreprises à l'utilisation des méthodes, ce qui était fait en séquence à des conférences sur les démarches mentales et les problèmes concernant la recherche morphologique, tels que nous les avons discutés dans ce travail.

Le groupe était ainsi composé :

- M. Arnold KAUFMANN, méthodologiste ;
- M. Bruno CAILLAT, psychologue ;
- huit à dix stagiaires, ingénieurs ou cadres ;
- l'auteur de ce travail.

Le rôle d'expert a été joué par un ou plusieurs stagiaires dont l'activité habituelle était liée au problème apporté ; celui-ci était souvent proposé par une de ces personnes.

Le véhicule individuel urbain du futur

Dans cette étude on a discuté tout d'abord du problème du trafic dans les grandes villes et on a décidé de construire une morphologie fondée sur les possibilités matérielles d'exécution des véhicules, donc assez normative ; le manque d'expérience des stagiaires dans le problème aurait rendu trop difficile une construction fondée sur les besoins et donc moins normative.

La description adoptée a été la suivante :

	1/7	2/8	3/9	4/10	5	6
FORMATEUR						
F ¹ MOUV. SUR	roues	patins	chenilles	pattes	coussin	cylindres
			a (1)		d'air	
	susp. magn.	flotteurs				
F ² CABINE	fermée	ouverte	sans cab.	b		
F ³ MAT. CA-					complexe	
BINE	métal	plastique	bois	papier	organique	ciment
	fluide	tissu	c			
F ⁴ ENERGIE	musculaire	électrique ⁽³⁾	mécanique	chimique	vent	vapeur
	pile comb.	gaz compr.	pétrole	d		
F ⁵ LOC.						
SOURCE	endogène	exogène	e			
F ⁶ PILOTAGE	volant	guidon	double le-	pédales	guides	connection
			vier			sur les
						membres
	positionn.	f				
	corporel					

(1) On avait présenté la suggestion "suspension par antigravité" ; cette idée relevant de la science-fiction (qui a pourtant sa place dans les études de prospective) n'a pas été retenue étant donnée l'impossibilité totale de sa réalisation, mais elle constitue un exemple intéressant de "risque psychologique", rendu possible par l'atmosphère détendue qui régnait dans le groupe.

- (2) Il est aussi intéressant d'observer l'originalité de quelques homologues de ce formateur, comme "ciment" et "fluide" ; sa présence réfléchit d'une certaine façon le sens de la non-normativité manquante dans la morphologie.
- (3) On a des distinctions a priori dans le formateur "source d'énergie" ; le pétrole n'est pas considéré comme source d'énergie chimique, ni la pile à combustible comme source "électrique" non plus ; c'est là une idée cachée sur les différences de conception liées aux différents types d'engins utilisant ces sources : la soumission imposée par la source électrique, en général exogène, opposée à la liberté permise par la pile, et l'idée générale de fusée par opposition à celle de la voiture à essence.

On a utilisé la randomisation libre ; l'étude n'a pas été poussée à fond étant donné son caractère didactique, mais on a discuté une dizaine de solutions dont les suivantes ont été retenues :

- (8,3,2,3,2,5) - c'est en réalité une bonne description du ski aquatique ; dans une ville cela pourrait être interprété comme une sorte de télésiège adapté à la circulation ; l'idée centrale vient de la combinaison "flotteurs" et "source exogène".
- (1,2,4,5,2,5) - cela ressemble à un char à voile ; dans une ville l'idée retenue était celle d'un réseau souterrain avec des véhicules légers en attente d'utilisateurs et qui pourraient être mis en marche à l'aide d'une voile sur laquelle agirait un courant d'air provoqué par des ventilateurs. L'idée centrale est "roues" - "cabine ouverte" - "vent".
- (4,1,6,7,2,5) - on peut imaginer un petit véhicule capable même de monter des escaliers et donc d'être rangé à l'endroit précis où l'on veut aller. Cela, malgré l'incomptabilité entre

"pile à combustible" et "source exogène", valable au moins en ce qui concerne le véhicule. L'idée centrale est "pattes" - "pile à combustible" (variété de terrain de marche, légèreté par rapport à la puissance).

(1,2,2,7,1,3) - c'est une voiture électrique légère, commandée par double levier ; en effet on vient de présenter une voiture semblable, à cabine ouverte et avec pilotage par manche (ce qui n'a pas été imaginé lors de la construction de la morphologie).

L'idée central est "roues", "plastique", "double levier", ce dernier homologue apportant l'idée d'une voiture plutôt normale, pilotée à l'aide d'un outil qui semblerait moins étrange dans une configuration moins habituelle.

On peut observer dans cette étude l'importance des sous-assemblages dans l'apport des idées nouvelles ; on voit aussitôt qu'elles sont souvent interprétées tout en prenant en compte certains besoins ou désirs de l'utilisateur (comme celui d'avoir un véhicule qui puisse l'amener directement chez soi) et aussi certaines contraintes liées à l'environnement (comme l'utilisation d'un réseau souterrain, pour avoir un contrôle sur le vent qui va pousser les véhicules). Enfin, un concept peu original peut devenir attractif par l'apport d'un autre, comme on le voit dans la deuxième solution.

L'épandage d'herbicides

On a étudié le problème de la distribution d'un produit liquide, en général corrosif, sur les espèces végétales existantes dans un champ de culture, avec la finalité de tuer les mauvaises herbes.

La morphologie a été surtout axée sur des problèmes techniques et a été bâtie comme suit :

:	:	:	:	:	:
:	FORMATEUR	1/5	2/6	3/7	4
:	(1):	:	:	:	:
:	PROC.MELANGE	a priori	pre-injection	post-injection	:
:	PULVERISATEUR	circulaire	fente	cylin. pulver.	:
:	PORTEUR	homme	véh. terrest.	avion	ballon captif
:	:	microencapsul.	réseau aérien	réseau au sol	:
:	CONTROLE	:	:	:	:
:	DISTRIBUTION	débit pompe	pression	:	:
:	MANUT.EQUIL	:	:	(2)	:
:	SUSPENSION	agit.mécanique	air	vibration	:
:	CONTROLE	(3):	:	(4)	:
:	RECOUVREMENT	traceur coloré	passage unique	guide optique	:
:	:	:	:	:	:

(1) Les homologues 2 et 3 correspondent à des processus de mélange au moment de l'utilisation, le premier étant celui de mélange avant la pulvérisation et le second celui de mélange au moment de la pulvérisation.

(2) On suppose toujours que le produit est insoluble dans l'eau et qu'il faut le maintenir en suspension.

(3) Il s'agit d'un colorant additionné au mélange pour permettre d'évaluer la quantité distribuée et l'homogénéité de la distribution.

(4) Il s'agit d'un outil porté par un homme ou un véhicule pour contrôler la distribution (une sorte de mire).

Nous avons retenu les solutions suivantes :

(3,2,1,2,3,1) - la post-injection avec fente suggère l'injection du produit, goutte à goutte, au milieu d'un courant d'air (une sorte d'éjecteur) ; c'est une solution presque classique si ce n'est qu'on utiliserait l'air comme support pour le produit pur, au lieu d'utiliser un mélange aqueux.

L'idée centrale est alors "post-injection" - "contrôle a pression".

- (2,2,5,1,3,3) - d'après l'expert il y avait une incompatibilité, celle de la pré-injection avec le microencapsulation ; mais cette solution a apporté les idées suivantes :
- distribuer seulements les microcapsules, au moment où il pleut (ou alors, utiliser de l'eau pulvérisée à cet égard) ; les capsules pourraient alors se dissoudre progressivement et libérer le produit ;
 - utiliser des vibrations pour casser les capsules au moment du mélange, **ou** pour les casser tout court ;
 - utiliser la pré-injection (possibilité découverte à ce moment) pour introduire de la mousse de micorsphères dans le jet liquide ;
 - faire le contrôle en utilisant des capsules colorées.
- (2,3,5,1,2,3) - avec pré-injection et en utilisant l'air pour maintenir l'équilibre des phases, cette solution apporte l'idée d'utiliser l'air aussi comme phase inerte, comme on a fait dans la première solution ; mais ici, avec le cylindre (qui serait, en ce cas, un cylindre distributeur et non pas pulvérisateur) on aurait un lit fluidisé de microsphères.
- (2,2,7,2,1,1) - il s'agit d'une configuration presque classique, mais la pré-injection réunie au réseau de **tuyaux** fixé au sol apporte l'idée d'un éjecteur du type utilisé pour la préparation de mousses anti-incendiaires ; on apporterait donc le bidon avec le produit et on y introduirait l'éjecteur, qui se mettrait à aspirer le produit.

Cette morphologie étant beaucoup plus spécialisée que celle de l'exemple antérieur, le groupe a eu beaucoup de difficultés parce que seul l'expert connaissait le sujet. Il faudrait donc qu'il y ait deux ou trois experts pour que le sujet soit plus éclairci.

On doit noter que la notion de "porteur" est très élastique ; on y considère non seulement le véhicule qui porte l'appareil distributeur, mais aussi l'élément du mélange qui porte le produit (cas des microsphères). Cette idée de microsphères est d'ailleurs la plus puissante dans la morphologie, car il s'agit d'un concept assez nouveau dont les possibilités n'ont pas été complètement explorées.

Un exemple automatisé

On peut dans certains cas construire un sous-programme destiné à évaluer les solutions tirées par les méthodes adaptatives ; un tel sous-programme peut contenir soit une stratégie de pondération, soit des critères de sélection des stimuli ou des solutions plus convenables.

Un sous-programme capable d'éliminer les solutions non utilisables ou de qualité moindre a été combiné à la méthode d'énumération simple (22). Il contenait une série de tests auxquels on a soumis les solutions.

C'est là une technique valable, au moins dans les cas où l'ensemble produit n'est pas trop grand ; il est en général plus facile d'évaluer une solution que de dégager l'influence individuelle (si elle peut être dégagée) d'un sous-assemblage. La construction d'un sous-programme capable d'accomplir cette dernière fonction n'est guère facile et nous croyons qu'elle ne se justifie que dans les cas où un programme d'énumération prendrait trop de temps pour être exécuté. Cela pourrait arriver soit à cause de nécessités de calcul trop grandes dans l'exécution des tests, soit à cause du nombre de solutions à évaluer.

En effet, ce travail de dégagement qui est aisément fait par des groupes de recherche sur des sujets de qualité non mesurable, est souvent très difficile dans un problème mesurable. Encore faut-il que l'hypothèse relative à l'influence des sous-assemblages soit applicable au problème que l'on veut étudier ; la nature même du problème doit permettre de s'en apercevoir dans la plupart des cas.

Nous verrons pourtant que le programme lui-même est capable de renseigner sur la qualité des stimuli utilisés, ce qui aide à corriger les erreurs de critère (bien sûr, au prix d'un nombre plus élevé de tirages de mauvaise qualité).

Considérons donc que cette hypothèse soit valable pour un problème donné ; il faut alors utiliser les informations dont on dispose déjà pour structurer les tests à utiliser. A l'aide de ces tests on pourra soit éliminer des sous-assemblages (donc définir des blocages), soit, et surtout, distinguer ceux qui doivent être utilisés comme stimuli.

Dans la plupart des cas les formateurs concerneront des sujets variés, ce qui exigera en général une interprétation indirecte de l'intérêt des solutions à l'aide d'un certain nombre de critères par exemple, le coût, le confort, la vitesse, la fiabilité.

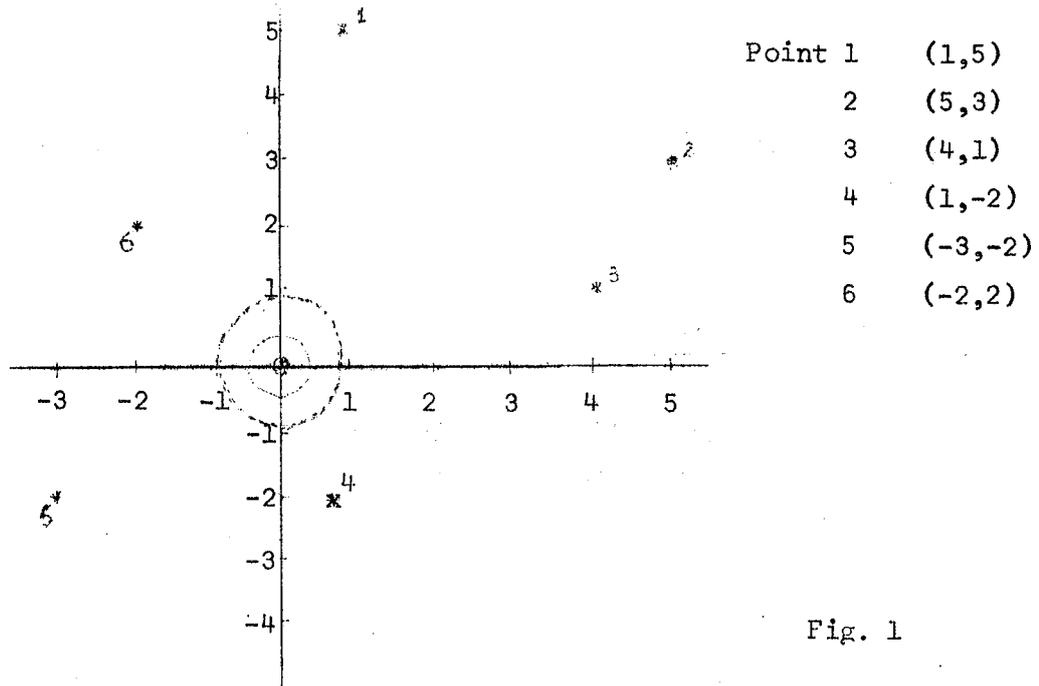
D'autre part il peut y avoir des morphologies où toutes les options portent sur des sujets de même nature, ce qui serait souvent le cas des problèmes d'affectation de valeurs ou d'allocation de ressources.

Il convient d'observer qu'un groupe de recherche aurait des difficultés à étudier ce type de problème, faute de motivation psychologique.

C'est une étude de ce type que nous avons choisi comme exemple ; il s'agit de l'affectation de poids à un certain nombre de positions repérées par un système de coordonnées orthogonales. On cherchera à trouver le plus grand nombre de solutions ayant le centre de gravité le plus proche possible de l'origine.

On a construit une morphologie de masses, chaque formateur correspondant à un point ; on y applique une méthode de recherche : la randomisation libre adaptative dans notre cas. Les solutions tirées sont examinées à l'aide d'un sous-programme construit à cet effet.

On a considéré six points disposés comme suit :



La morphologie a été construite sans aucun souci d'apporter des solutions convenables ; on a seulement restreint les valeurs des masses à un intervalle pas trop étendu pour éviter des déviations trop importantes.

La morphologie utilisée est la suivante :

Point 1	{10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24}	(8 éléments)
Point 2	{13, 15, 17, 19, 21, 23}	(6 éléments)
Point 3	{8, 9, 10, 11, 12, 13}	(6 éléments)
Point 4	{8, 10, 12, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 32}	(10 éléments)
Point 5	{6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38}	(9 éléments)
Point 6	{5, 8, 11, 13, 15, 17, 18, 22, 26, 30}	(10 éléments)

L'ensemble produit contient donc $8 \times 6 \times 6 \times 10 \times 9 \times 10 = 259.200$ 6-assemblages. C'est un nombre trop élevé pour permettre l'utilisation de l'énumération simple dans un problème dont le jugement des

solutions exige un travail de calcul important ; au moins cela exigerait un délai assez long de temps et le coût deviendrait élevé.

Dans notre problème le calcul très simple de la distance du centre de gravité à l'origine permet de connaître : le nombre de bonnes solutions assez rapidement. On peut alors juger de l'efficacité de la méthode adaptative.

Le critère de qualité

Nous avons défini des intervalles basés sur la distance moyenne des six points à l'origine ; ces intervalles délimitent trois zones dont deux ont été utilisées dans l'évaluation automatique.

Soit r_m la distance moyenne des points à l'origine ; on dit qu'un point appartient à la

zone 3	si $d > \frac{r_m}{4}$
zone 2	si $\frac{r_m}{4} > d > \frac{r_m}{8}$
zone 1	si $d < \frac{r_m}{8}$

On a défini encore une quatrième zone dans la zone 1 ; on dit qu'un point appartient à la zone 0

$$\text{si } d \leq 0.1$$

Cette zone contiendra alors les solutions "excellentes".

On a

$$r_m \approx 3,954$$

donc les rayons externes des zones 2 et 1 seront

$$r_2 \approx 0.988$$

$$r_1 \approx 0.494$$

La figure 1 montre ces zones.

La méthode d'énumération simple a donné les résultats suivants :

zone 0	244 points	soit 0,09 % du total
zone 1	14.290 points	soit 5,51 % du total
zone 2	73.855 points	soit 28,45 % du total
zone 3	171.055 points	soit 66,05 % du total

L'énumération n'a été faite que pour la zone 0 ; on a fait seulement le dénombrement des points des autres zones. Ce travail a utilisé 50,28 secondes de l'unité centrale de l'ordinateur IBM 360/65 de l'IMAG.

La sélection des stimuli

On a considéré des stimuli composés de deux, trois ou quatre homologues. Le critère de sélection utilisé a été le suivant :

- pour un stimulus à deux homologues : le centre de gravité du sous-ensemble correspondant doit appartenir aux zones 1 ou 2 ;
- pour un stimulus à trois ou quatre homologues : le centre de gravité du sous-ensemble correspondant doit appartenir à la zone 1.

Dans les expériences qui nous avons faites, les stimuli ont été, soit découverts par le programme lui-même, soit choisis parmi ceux qui avaient été découverts lors des passages antérieurs.

La pondération

On a dans certaines expériences utilisé une stratégie de pondération qui est la suivante :

- on a pondéré soit les homologues des solutions, soit ceux des sous-assemblages ;

- l'accroissement des poids à chaque fois pour les homologues d'une même solution ou d'un même sous-assemblage est la même pour tous leurs homologues et est égal à

$$1 - \frac{d}{r_i}$$

où d est la distance du centre de gravité de la solution ou du sous-assemblage à l'origine et r_i est le rayon de base pour la pondération égal à r_1 ou r_2 suivant les cas ;

- le poids initial est égal à 1 pour tous les homologues.

La stratégie générale du sous-programme de jugement

Tout d'abord on vérifie la qualité de la solution tirée ; ses homologues seront pondérés si son centre de gravité est dans la zone 1. Le rayon de base pour la pondération est donc r_1 .

Si le modèle n'est pas utilisé (c'est à dire, au début du travail s'il n'y a pas assez de stimuli), ou si la réponse du modèle a été incorrecte, on suivra alors les étapes suivantes :

- le programme tire au hasard un 2-sous-assemblage d'homologues de la solution ;

- il en fait le calcul de la distance à l'origine ;

- si, d'après cette distance, ce 2-sous-assemblage satisfait au critère de sélection pour les stimuli à deux éléments, il devient un stimulus et est stocké ; ses homologues seront pondérés avec le rayon de base r_2 .

- dans tous les cas, le programme essayera ensuite les 3-sous-assemblages résultant des combinaisons de ce 2-sous-assemblage avec les autres homologues de la solution, un après l'autre. Chaque fois qu'un de ces 3-sous-assemblages satisfait au critère des stimuli à 3 éléments, il devient un stimulus et est stocké ; ses homologues sont pondérés avec le rayon de base r_1 .

Si le modèle est utilisé et que la réponse a été correcte, le programme prendra les composantes du stimulus qui existeront dans la solution et en essayera les combinaisons de la façon décrite ci-dessus ; dans ce cas on pourra avoir des combinaisons ayant 3 ou 4 homologues. Si le stimulus a déjà 4 homologues aucune combinaison ne sera essayée.

Ces critères de sélection des stimuli ne se sont pas montrés assez satisfaisants ; on a donc utilisé des critères d'élimination des stimuli qui n'ont pas produit de bonnes solutions.

On a alors utilisé les deux critères suivants :

Critère 1 : un stimulus n'est pas éliminé si l'un des cas suivants se vérifie :

- le stimulus a produit au moins un point appartenant à la zone 1 ;
- le nombre de points de la zone 2 qu'il a produit est au moins égal à celui des points de la zone 3 qu'il a produit ;
- le nombre de réponses incorrectes est plus grand que la moitié du nombre de points de la sortie.

Ce critère s'est montré faible ; on a alors adopté le

Critère 2 : un stimulus n'est pas éliminé si l'un des cas suivants se vérifie :

- le stimulus a produit au moins un point appartenant à la zone 1 ;
- le nombre de réponse incorrectes est plus grand que la moitié du nombre de points de la sortie.

Conditions générales de travail

On a sorti en général 500 points répartis en sorties de 10 points et on a admis au plus 50 stimuli.

Les valeurs des proportions δ_0 et δ_1 de réponses incorrectes par rapport aux réponses correctes ont été assez faibles pour permettre l'obtention d'un nombre de réponses correctes suffisant pour juger de la qualité des stimuli. Dans la plupart des expériences on a utilisé

$$\delta_0 = 0.5 \quad \text{et} \quad \delta_1 = 0.4$$

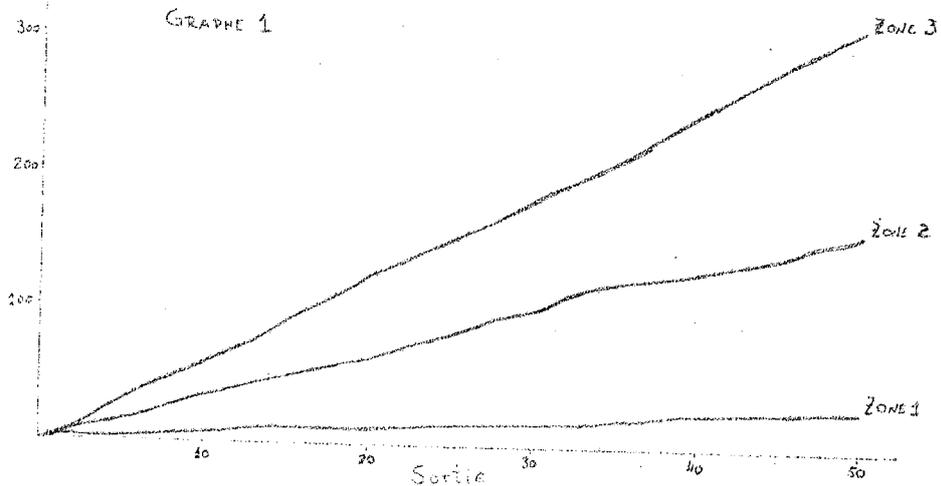
La valeur de départ de l'ensemble de nombres pseudo-aléatoires a été la même dans toutes les expériences, soit 2337.

Pour permettre la comparaison entre les variantes adaptatives et non-adaptatives, avec ou sans pondération, on a fait une série d'expériences, que nous allons décrire.

1 - Méthode non-adaptative, sans pondération

Le graphe 1 montre l'évolution du nombre cumulé de points des zones 1, 2 et 3. La méthode, entièrement libre, tend à sortir de l'ensemble produit un échantillon assez simplificateur ; on a, après 10, 20, ..., 50 sorties de 10 points, les pourcentages suivants des points dans les trois zones :

PER CENT DANS L'ENSEMBLE PRODUIT	PER CENT DANS LES ECHANTILLONS DE					
	100 POINTS	200 POINTS	300 POINTS	400 POINTS	500 POINTS	
zone 1	5,51	7,00	6,50	5,67	6,50	5,8
zone 2	28,49	35,00	31,50	33,65	32,80	32,2
zone 3	65,99	58,00	62,00	60,68	60,70	62,0



2 - Méthode non-adaptative, avec pondération

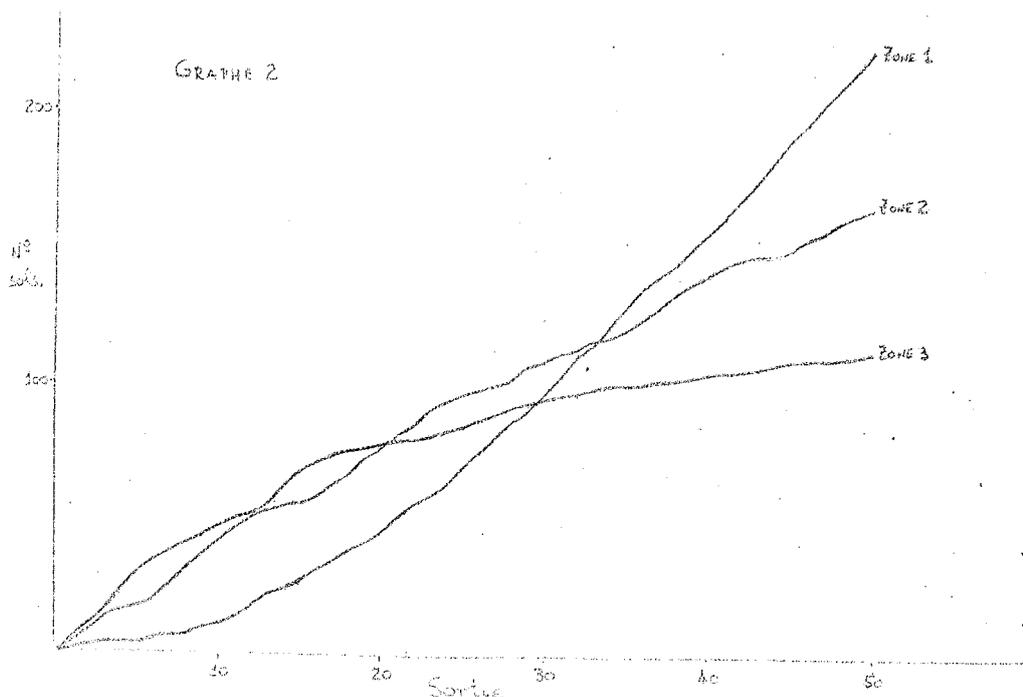
Deux expériences ont été faites en séquence, la deuxième ayant utilisé les poids déjà obtenus dans la première.

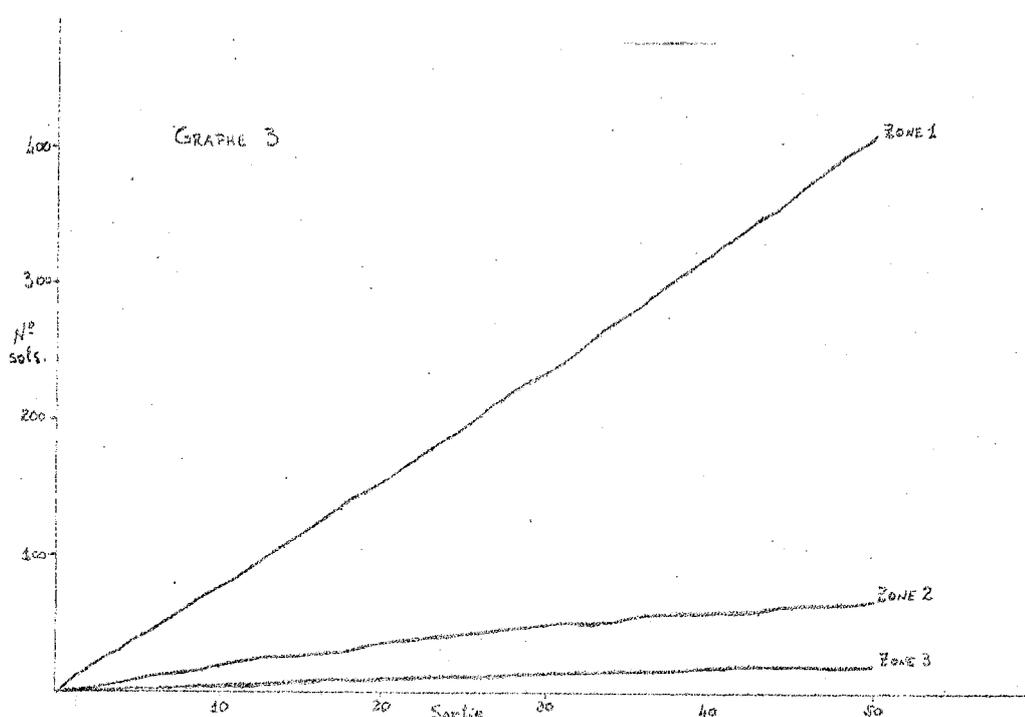
La pondération a été faite de la même façon que pour la méthode adaptative, c'est à dire celle des sous-assemblages tirés au hasard et celle des combinaisons réussies ; tout le système de recherche de stimuli a été mis en marche, mais les stimuli dégagés n'ont pas été utilisés.

On a donc pondéré, d'une part les homologues qui produisaient de bonnes solutions, d'autre part ceux qui produisaient de bons sous-assemblages.

Le résultat montre que la pondération tend à faire valoir ces influences individuelles ; après un départ semblable à celui de la méthode sans pondération on observe une tendance très nette d'accroissement du nombre de points appartenant à la zone 1. Cette tendance devient de plus en plus importante et dans la deuxième série de points elle est absolument dominante.

Les graphes 2 et 3 montrent l'évolution du nombre de points des trois zones dans les deux séries de points.





3 - Méthode adaptative, sans pondération

Dans cette méthode, on peut observer que la méthode gaspille beaucoup de tirages avec des mauvais stimuli. La plupart des solutions de la zone 1 qui sont obtenues à partir des réponses correctes sont dues à un nombre assez réduit de stimuli ; beaucoup de sorties se terminent avec l'élimination du stimulus sans qu'aucune bonne solution soit obtenue à partir des réponses correctes.

Nous avons fait deux expériences correspondant aux deux critères d'élimination ; plutôt que de montrer l'évolution des nombres cumulés de points dans les zones comme pour les expériences précédentes nous préférons montrer les résultats obtenus avec les stimuli qui ont produit des points dans la zone 1.

Les résultats globaux ont été les suivants :

	Exp. critère 1		Exp. critère 2	
Nombre de points	480		500	
Points zone 1	39	(8,13 %)	35	(7,00 %)
Points zone 2	165	(34,40 %)	219	(43,80 %)
Points zone 3	275	(57,35 %)	246	(49,20 %)
Stimuli utilisés	37		43	
Stimuli éliminés	14		30	
Stimuli rentables	14		11	
Points zone 1 :				
avant le modèle				
(au départ)	4	(10,2 %)	4	(11,4 %)
réponse incorrecte	9	(23,1 %)	5	(14,3 %)
réponse correcte	26	(66,7 %)	26	(74,3 %)
Points par stimulus				
rentable	1,86		2,37	

Tout d'abord il semble que, s'il y a certaines améliorations, elles sont faibles et ne sauraient justifier l'augmentation du travail de calcul exigée par la méthode adaptative.

Pourtant si on tient compte des résultats obtenus avec chaque stimulus on va vérifier que tous les points de réponse correcte appartenant à la zone 1 ont été obtenus à l'aide de 14 stimuli seulement, dans la première expérience, et de 11 dans la deuxième. Aussi la moyenne des points obtenus par stimulus rentable (c'est à dire, un stimulus qui a produit des points dans la zone 1) est plus élevée dans la deuxième expérience car le critère d'élimination a été plus sévère.

On voit donc que les stimuli contribuent à l'obtention des bonnes solutions et que cette contribution est assez importante ; il arrive que le critère de sélection des stimuli ne soit pas assez précis (il ne tient pas compte, par exemple, de la position du centre de gravité du stimulus mais seulement de la distance à l'origine). Mais

cela permet de montrer que la méthode adaptative elle-même est capable de renseigner l'utilisateur sur les meilleurs stimuli à utiliser.

Cela ne se fait évidemment qu'au prix d'un certain nombre de tirages ; donc, le plus important est le travail de calcul nécessaire, le plus convenable est d'utiliser au maximum les informations dont on dispose au départ, pour essayer de dégager les meilleurs stimuli possibles. Bien sûr il convient toujours de laisser sa place au hasard (comme dans notre problème avec les stimuli recherchés dans les points obtenus des réponses incorrectes) car il peut toujours y avoir des combinaisons que l'on n'a pas envisagées et qui peuvent être rentables.

Cette expérience a montré qu'il devait être intéressant de fournir au programme un certain nombre de stimuli déjà caractérisés comme capables de fournir des points appartenant à la zone 1. Cela constitue l'objet de deux autres expériences ; avant d'en exposer les résultats nous allons pourtant voir ce qui se passe quand on applique la pondération à la méthode adaptative.

4 - Méthode adaptative, avec pondération

On a utilisé le deuxième critère d'élimination des mauvais stimuli. Le nombre de stimuli éliminés a pourtant été inférieur à celui de l'expérience précédente, cela parce que la pondération augmente la probabilité de tirage des bonnes solutions ; cette amélioration a eu pour effet que des stimuli qui auraient peut-être été éliminés dans une expérience sans pondération, ont produit des points dans la zone 1.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

Nombre de points	500	Points zone 1 :	
Points zone 1	208 (41,7 %)	avant le modèle	4 (1,9 %)
Points zone 2	197 (39,4 %)	réponse incorrecte	71 (34,1 %)
Points zone 3	95 (19,0 %)	réponse correcte	133 (64,0 %)
Stimuli utilisés	38	Points par stimulus	
Stimuli éliminés	11	rentable	5,54
Stimuli rentables	24		

L'amélioration est considérable par rapport à la méthode adaptative sans pondération, mais le résultat de l'expérience 2 est encore meilleur. Les conclusions finales sur l'efficacité de la méthode adaptative peuvent être tirées des deux dernières expériences, où le programme a reçu, avant l'utilisation de la méthode, 23 stimuli sélectionnés parmi les meilleurs des expériences précédentes.

Il y a encore eu des pertes, surtout en ce qui concerne les stimuli dégagés par le programme pour compléter l'ensemble et pour remplacer les stimuli éliminés. Les résultats ont pourtant été significatifs.

5 - Méthode adaptative sans pondération, 23 stimuli introduits au départ

Cette expérience est véritablement la plus frappante par ses résultats, qu'il convient de présenter avant tout commentaire.

Nombre de points	500	Points zone 1 :	
Points zone 1	95 (19,0 %)	réponse incorrecte	5 (5,27 %)
Points zone 2	207 (41,4 %)	réponse correcte	90 (94,73 %)
Points zone 3	198 (39,6 %)	Points par stimulus	
		rentable	4,29
Stimuli introduits utilisés	16	Stimuli découverts utilisés	22
éliminés	5	éliminés	10
rentables	11	rentables	10

Des 90 points de réponses correctes dans la zone 1, 64 ont été produits par les stimuli introduits au départ et 26 par les stimuli découverts par le programme. D'après les nombres respectifs de stimuli rentables on trouve pour le premier cas une moyenne de 5,82 points par stimulus rentable et pour le deuxième cas une moyenne de 2,60.

On a donc obtenu, avec l'introduction de stimuli, une moyenne semblable à celle de la méthode adaptative avec pondération.

Il convient encore de remarquer que la fraction de points de la zone 2 a été sensiblement augmentée ; cela est dû au même phénomène de concentration des meilleures solutions dans les sous-ensembles définis par les meilleurs stimuli, car le changement d'un homologue par un autre ayant une valeur proche, dans une solution de la zone 1, peut produire dans certains cas une solution de la zone 2.

Il est intéressant aussi d'observer que les réponses correctes ont été très inefficaces en ce qui concerne les points de la zone 1. Avec

$$\delta_0 = 0,5 \quad \text{et} \quad \delta_1 = 0,4$$

on pourrait s'attendre à obtenir une fraction de réponses incorrectes entre

$$0,5/1,5 \text{ (soit } 0,333) \text{ et } 0,4/1,4 \text{ (soit } 0,286).$$

Dans l'expérience on a obtenu 163 réponses incorrectes, soit 0,323 du total ; elles n'ont produit que 5 points dans la zone 1, soit 0,03 du nombre de réponses incorrectes. Cette fraction est comparable à celle des points de la zone 1 dans l'ensemble produit (0,0551). Un mauvais échantillonnage fait par la méthode non-adaptative sans pondération pourrait peut-être donner un résultat semblable.

6 - Méthode adaptative avec pondération, 23 stimuli introduits au départ

L'influence de la pondération rend moins frappants les résultats de cette expérience puisque la rentabilité de tous les stimuli a été augmentée, qu'il s'agisse de stimuli introduits au départ ou de ceux découverts par le programme. Les réponses incorrectes ont été aussi beaucoup plus efficaces.

Il y a eu aussi une amélioration sensible par rapport aux résultats de l'expérience 4.

Nombre de points	500	Points zone 1 :	
Points zone 1	255 (51,0 %)	réponse incorrecte	97 (38,0 %)
Points zone 2	192 (38,4 %)	réponse correcte	158 (62,0 %)
Points zone 3	53 (10,6 %)	Points par stimulus	
		rentable	6,59
Stimuli introduits utilisés	13	Stimuli découverts utilisés	16
éliminés	--	éliminés	5
rentables	13	rentables	11

De 158 points de réponses correctes dans la zone 1, 100 sont dûs aux stimuli introduits au départ et 58 aux stimuli découverts par le programme. Cela nous donne les moyennes respectives de 7,69 et 5,27 points par stimulus rentable. Il y a donc une augmentation assez sensible qui peut donner une image très nette de la qualité de stimuli et de l'efficacité que l'on peut obtenir.

Pour permettre un meilleur jugement sur la qualité des stimuli sélectionnés à introduire au départ du programme nous en présentons la liste, avec le nombre de points des projections correspondantes et la distribution de ces points parmi les quatre zones. On voit que tous ont un pourcentage de points dans la zone 1 beaucoup plus grand que celui de l'ensemble produit et que ce pourcentage est plus grand pour les projections qui ont des points dans la zone 0.

STIMULI DONNES AU PROGRAMME AU DEPART DES EXPERIENCES 5 ET 6

VECT. STIMULUS	N° ELEMENTS DE LA PROJECTION	% POINTS ZONE 0	% POINTS ZONE 1	% POINTS ZONE 2	% POINTS ZONE 3
0 5 2 0 9 0	800	0	16,000	73,125	10,875
0 5 2 0 9 6	80	0	18,750	71,250	10,000
0 5 2 0 9 3	80	0	18,750	72,500	8,750
0 5 1 0 9 0	800	0	19,375	70,000	10,625
0 5 1 0 9 2	80	0	20,000	72,500	7,500
5 1 0 9 6 0	60	0	0	100,000	0
0 5 1 0 9 1	80	0	13,750	78,750	7,500
0 5 0 0 9 0	4 800	0	12,167	75,542	12,292
0 0 0 9 0 4	2 592	0,502	11,690	34,529	53,781
1 1 0 9 0 4	54	7,407	40,741	31,481	27,778
0 1 3 0 9 1	80	2,500	71,250	28,750	0
0 1 3 0 9 0	800	4,500	49,625	47,875	2,500
0 1 3 0 7 0	800	0	21,875	62,875	15,250
1 1 3 0 9 0	100	22,000	86,000	14,000	0
0 1 2 0 7 2	80	0	31,250	58,750	10,000
0 0 0 8 0 8	2 592	0	9,491	38,040	52,469
0 1 2 0 7 4	80	0	28,750	60,000	11,250
0 1 2 0 7 5	80	0	26,250	61,250	12,500
0 1 2 0 7 0	800	0	24,625	60,375	15,000
1 1 0 9 0 7	54	14,815	48,148	29,630	22,222
0 1 1 0 6 0	800	0	10,875	62,125	27,000
0 1 5 0 7 0	800	0	15,375	67,500	17,125
0 3 6 0 9 7	80	0	30,000	65,000	5,000
ENS. PRODUIT	259 200	0,094	5,513	28,493	65,993

Conclusions

L'utilisation des méthodes adaptatives ou non-adaptatives avec jugement automatique des solutions peut être très rentable, quand ce jugement peut être fait. La pondération augmente considérablement l'efficacité de la méthode ; elle n'a qu'un inconvénient, c'est à dire que le programme peut s'en tenir à certains résultats ce qui pourra entraîner l'arrêt du travail ; une pondération prudente peut minorer ce danger.

L'efficacité de la méthode adaptative dépend de la précision du critère de sélection des stimuli. Le programme devient beaucoup moins efficace s'il doit gaspiller des tirages avec des stimuli de mauvaise qualité. Un critère à élimination peut être utilisé pour une sélection pendant l'utilisation.

La méthode adaptative pondérée est très efficace, surtout si les stimuli sont de bonne qualité ; c'est à dire, si le critère de sélection est efficace, ou s'il y a eu une sélection préalable parmi les stimuli obtenus lors des expériences précédentes.

Il va sans dire que les démarches liées à un test automatique ont un degré d'empirisme assez élevé ; il nous semble qu'une étude précise du problème serait très difficile, surtout en ce qui concerne les stratégies de pondération.

Néanmoins, il s'agit d'un instrument utile dont la forme d'application dépend du contexte du problème ; s'il peut être adapté à un problème donné il y sera certainement efficace.

Les sous-programmes de jugement

La sous-routine APDEL utilisée dans les expériences précédentes exécutait les fonctions suivantes :

- initialisation des compteurs des zones,
- calcul des rayons externes des zones,
- classification des points et des sous-assemblages examinés,
- pondération des composantes des points et des sous-assemblages qui satisfont aux critères,
- stockage, comme stimuli, des sous-assemblages qui satisfont aux critères,
- tirages au hasard des 2-sous-assemblages parmi les homologues des réponses incorrectes,
- impression : des stimuli stockés, au moment du stockage
des stimuli non stockés faute de place ;
- à chaque sortie : des distances relatives aux points,
de la matrice des poids, en cas de pondération,
du nombre cumulé de points des zones 1, 2 et 3,
du nombre total de points,
de la distance moyenne des points de la sortie,
du nombre de points des zones 1, 2 et 3 correspondant
à des réponses correctes.

Trois sous-routines auxiliaires ont été utilisées par APDEL :

- GRSOL, pour le calcul des distances des centres de gravité à l'origine, soit de points, soit de sous-assemblages ;
- COMBI, pour la combinaison de stimuli avec les composantes de la solution ne faisant pas partie du stimulus, l'une après l'autre ;
- ELSTIM, pour l'élimination des mauvais stimuli ; le bloc d'élimination est identique à celui de la fonction ELSTIM du programme MORPHO ; mais l'utilisation de cette fonction exigerait des retours spéciaux et adressés, ainsi que des entrées adressées ; nous avons jugé plus convenable de copier le bloc sous forme de sous-routine.

APPENDICE IV - PROGRAMMES ET EXEMPLES D'UTILISATION

Ils sont présentés dans l'ordre suivant :

1) Programmes BASIC	pages 197 à 206
2) Programme MORPHO FORTRAN	pages 207 à 220
3) Sous-programmes APDEL, COMBI, GRSOL, ELSTIM	pages 221 à 224
4) Programme ENUMER pour la méthode d'énumération simple et pour l'énumération des points des projections	pages 225 à 227
5) Exemple d'utilisation des programmes BASIC	page 228
6) Exemple d'utilisation des programmes FORTRAN	pages 229 à 231

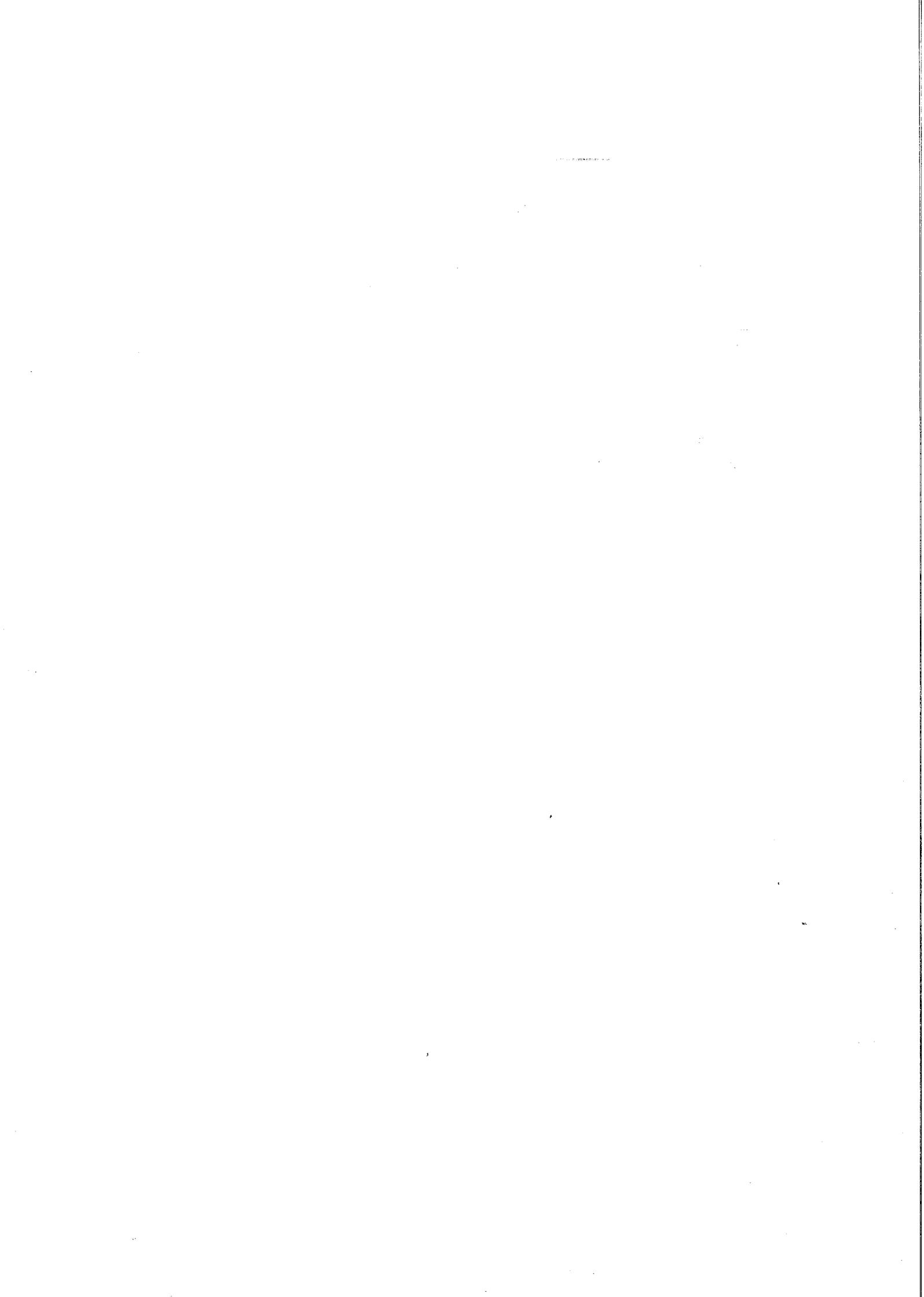
Obs. : Les télétypes sur lesquels nous avons travaillé avec le programme BASIC utilisent quelques caractères différents de ceux habituellement utilisés.

La table suivante donne l'équivalence de ces caractères avec ceux habituellement utilisés :

Où on trouve	On doit lire
v	:
9	"
d	;
II	\$
'	<
z	>
x	*
t	** ou †
θ	≠

On aurait par exemple :

READ : 1, X	au lieu de READ √ 1, X
"CHAINE"	au lieu de g CHAINE g
PRINT X ;	au lieu de PRINT X d
DIM A\$(130)	au lieu de DIM AΠ(130)
IF X ₃₂ ⁰	au lieu de IF X <> 0
X = 4*(A1+1)	au lieu de X = 4*(A1+1)
T1 = AZ**Z	au lieu de T1 = AZ+Z
100 : †† †† ††	au lieu de 100 √ 0.00



MORPHO 16, 27 TS-BRU 22/05/70

```
10 FILES LIST1CLIST2RSTINLDBLOCOPARAM
20 DIM AH(130),M(10,12),LV(10),R(10,4),K(11),L(10)
30 PRINT qd VOS qPPRESq
40 GOSUB 400
50 LET L1=0
60 LET H1=1
70 CALL PSILIN
80 ON X GOTO 90,440,440,480,520,580,820,280,840,660,30
90 PRINT qINITIALISATIONq
100 READ Z1,Z9,N,L,Z6,Y
110 GOSUB 820
120 FOR I=1 TO 5
130 READ J,K,L1,H1
140 WRITE,5,J,K,L1,qH1d
150 NEXT I
160 FOR I=1 TO N
170 READ L(I)
180 WRITE,5,L(I)d
190 NEXT I
200 MAT M=CON
210 FOR J=1 TO N
220 FOR I=1 TO L(I)
230 WRITE,5,M(I,J)d
240 NEXT I
250 NEXT J
260 RESTORE
270 GOTO 30
280 IF H1=0 THEN 300
290 GOSUB 400
300 GOSUB 940
310 FOR I=1 TO 26+N
320 READ L2
330 NEXT I
340 FOR I=1 TO 13*N
350 READ AH(I)
360 NEXT I
370 CALL AUX01
380 RESTORE
390 GOTO 30
400 FOR I=1 TO 10
410 READ LD(I)
420 NEXT I
430 RETURN
440 GOSUB 940
450 CALL AUX02
460 RESTORE
470 GOTO 30
480 CALL AUX03
490 RESTORE,5
500 RESTORE
510 GOTO 30
520 PRINT qSTIMULUS A ELIMINEPqd
530 GOSUB 940
540 INPUT L1
550 LET K=Z1
560 LET Z1=Z1-1
570 GOTO 530
580 PRINT qBLOCAGE A ELIMINEPqd
590 GOSUB 940
600 INPUT L1
610 LET K=Z9
620 LET Z9=Z9-1
630 LET Y1=X-2
640 LET X2=N+4-X1
650 FOR I=L1 TO K
660 SET, X1, I*X2+1
670 FOR J=1 TO N+6-X
680 READ, Y1, K(J)
690 NEXT J
700 SET, Y1, (I-1)*X2+1
710 FOR J=1 TO N+6-X
720 WRITE, X1, K(J)d
730 NEXT J
740 NEXT I
```

```
750 PRINT qENCOPEq
760 INPUT P1
770 IF P1, qOU1q THEN 800
780 IF X=5 THEN 520
790 GOTO 580
800 GOSUB 910
810 RESTORE
820 GOTO 30
830 CHAIN RANDL
840 IF Y, 2 THEN R30
850 GOTO 800
860 IF Y=2 THEN 900
870 LET Y=2
880 SET, 5, 6
890 WRITE, 5, Yd
900 CHAIN CHALET
910 SCRATCH, 5
920 WRITE, 5, Z1Z9dNdlZ6dYd
930 RETURN
940 READ, 5, Z1, Z9, N, L, Z6, Y
950 RESTORE, 5
960 RETURN
970 DATA DEBUT, REGSTIM, REGBLOC, ALTPAR, ELSTIM, ELEBLOC, RANDL, ECOSOL
980 DATA SUITE, CHALET
990 DATA 0, 0, 5, 12, 0, 0, 0, 0, 0, 0
1000 DATA 0, 1, 0, 3, 5, 0, 0, 5, 0, 0, 2, 5, 2, 3, 1, 0, 0, 0
1010 DATA 6, 2, 3, 7, 5
1020 DATA MILIEU, AIR, qCHAMPS ELET, q, qCHAMPS MAGN, q, EAU, CORDE
1030 DATA PESSORT, 0, 0, 0, 0, 0, 0
1040 DATA MODE, LONGITUDINAL, TRANSVERSAL, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
1050 DATA FORME, LINEAIRE, PLANE, SPHERIQUE, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
1060 DATA qLONGUEUR ONDEq, SONORE, RADIO, INFRAROUGE, VISIBLE
1070 DATA ULTRAVIOLET, qRAYON Xq, GAMMA, 0, 0, 0, 0, 0
1080 DATA OBSTACLE, qREFLEX. TOTALEq, qREFLEX. PARTIEq, ASSORPTION
1090 DATA DIFFRACTION, qPAS D'EFFETq, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
1100 END
```

LEN
ABOUT 2800 CHARS.

RANDL 18, 34 TS-BRU 22/05/70

```
10 FILES LIST1dLIST2dSTIMLEBLOCdPARAM
20 DIM M(10,12), T(12), R(12), K(11), B(11), L(10)
30 CALL LECFIC
40 LET Z5=0
50 LET Z2=Z3=0
60 IF Z1, F THEN 220
70 CALL AUX04
80 IF E2, 2 THEN 180
90 LET P3=0
100 IF E5XSGN(E2), 0 THEN 120
110 CALL AUX07
120 LET S1=0
130 LET P1=G1
140 LET P2=G2
150 CALL DECIS
160 IF S1=0 THEN 190
170 PRINT qREPOSE INCORRECTq
180 GOTO 220
190 PRINT qREPOSE CORRECTq
200 GOTO 220
210 CALL LECFIC
220 FOR I=1 TO N
230 IF Z1X(1-S1), F THEN 260
240 LET K(I)=B(I)
250 IF K(I), 0 THEN 320
260 FOR J=1 TO L(I)
270 LET T(J)=M(I, J)+1-E
280 NEXT J
290 LET T=K(I)
300 CALL PROV
310 LET K(I)=S2
320 NEXT I
330 GOSUB 860
340 IF Q=0 THEN 400
```

```
350 LET Z2=Z2+1
360 PRINT qBLOCAGE
370 IF Z2,=L THEN 470
380 RESTORE
390 GOTO 60
400 GOSUB 860
410 IF 0=0 THEN 560
420 LET Z3=Z3+1
430 PRINT qREPETITION
440 IF Z3,=L THEN 470
450 RESTORE
460 GOTO 60
470 LET Z4=Z4+1
480 IF Z4=L THEN 540
490 IF Z1,F THEN 220
500 PRINT qSTIMULUS CHANGE
510 RESTORE
520 LET E2=0
530 GOTO 50
540 PRINT qSEQUENCE IMPOSSIBLE
550 STOP
560 FOR I=1 TO M
570 PRINT K(I)
580 NEXT I
590 PRINT
600 LET Z5=Z5+1
610 IF E=0 THEN 630
620 CALL APDEL
630 IF Y, 2 THEN 680
640 GOSUB 830
650 SET, 5, 11
660 WRITE, 5, Z5
670 CHAIN CHALET
680 IF Z1,F THEN 720
690 IF D=1 THEN 720
700 CALL AUX06
710 PRINT qPROB. CONDIT. qdP4
720 RESTORE
730 IF Z1,F THEN 760
740 SET, 3, (N+1)*01
750 WRITE, 3, D
760 IF Z5,L THEN 60
770 IF Z1,F THEN 830
780 LET E2=0
790 PRINT qCHOIX DE STIMULUS
800 INPUT, 00
810 IF 00,, q001 THEN 830
820 LET E2=1
830 SET, 5, 5
840 WRITE, 5, Z6HY001RZ4DE20
850 CHAIN MORPHO, 280
860 READ A, G, S
870 CALL IDSASS
880 RETURN
890 DATA 4, 0, 1, 1, 0, 0
900 END
```

LEN
ABOUT 2000 CHARS.

AUX01 18, 52 TS-BRU 22/05/70

```
10 LET H1=0
20 LET L1=4
30 LET L2=1
40 LET X=INT(1020/N)
50 LET X1=INT((Z6-1)/X)+1
60 IF Z6,, X THEN 90
70 SET, 5, 24
80 READ, 5, L
90 LET K=Z6-XX(X1-1)
100 LET H=(K-L)XN+1
110 SET, X1, H
120 IF L-H1,=4 THEN 140
130 LET L1=L-H1
140 FOR J=1 TO 4
150 LET H1=H1+1
```

```
160 IF H1, L THEN 210
170 FOR I=1 TO N
180 READ X1, B(1, J)
190 NEXT I
200 NEXT J
210 FOR I=1 TO N
220 LET Q=1+13X(I-1)
230 LET L2=1
240 FOR J=1 TO 4
250 IF SGN(L1-J+1)*L2=0 THEN 280
260 LET K(J)=Q+INT(S(1, J))
270 GOTO 290
280 LET K(J)=L2=0
290 NEXT J
300 PRINT AR(Q), AR(K(1)), AR(K(2)), AR(K(3)), AR(K(4))
310 NEXT I
320 PRINT
330 PRINT
340 IF H1, L THEN 120
350 IF X-Z6, =L THEN 360
360 RETURN
```

LEN
ABOUT 800 CHARS.

CHALEY 16 41 TS-BRU 22/05/70

```
10 FILES LISTdLIST2dSTIMLdBLONDdPARAM
20 DIM V(10, 7), P(20), T(20), U(20), W(20), M(10, 12), B(11), K(10), L(10)
30 CALL LECFIC
40 IF C1, 0 THEN 70
50 LET Z6=Z6+1
60 GOTO 100
70 LET X1=INT(1020/N)
80 LET X9=INT(Z6/X1)+1
90 SET V, X9, (Z6-1)*N+1
100 FOR I=1 TO N
110 IF C1=0 THEN 140
120 READ V, X9, K(I)
130 GOTO 170
140 LET K(I)=L(I)
150 PRINT K(I)d
160 WRITE V, 1, K(I)d
170 NEXT I
180 PRINT
190 IF C1, 0 THEN 210
200 LET C1=Z6=1
210 CALL INSPEC
220 IF E=0 THEN 300
230 FOR I=1 TO 2*N
240 IF T(I)=0 THEN 280
250 IF I, =N THEN 280
260 LET W(I)=T(I)=M(I-N, K(I-N)+1)
270 GOTO 280
280 LET W(I)=T(I)=M(I, K(I)-1)
290 NEXT I
300 IF Z1, F THEN 560
310 LET S9=1
320 LET D=INT(D+0, 001)
330 CALL AUX04
340 LET P3=P3XE7+P4X(1-E7)
350 IF E6=1 THEN 370
360 CALL AUX08
370 LET P1=62
380 LET P2=61
390 CALL DECIS
400 IF S1=0 THEN 430
410 PRINT qPEPONSE INCORRECTE q
420 GOTO 440
430 PRINT qPEPONSE CORRECTE q
440 FOR I=1 TO N
450 IF R(I)=0 THEN 520
460 IF S1, 0 THEN 530
470 LET K=B(I)-K(I)
480 IF K=0 THEN 530
490 IF K, 0 THEN 540
500 LET T(I+N)=0
```

```
510 GOTO 550
520 IF S1,,0 THEN 550
530 LET T(I+N)=0
540 LET T(I)=0
550 NEXT I
560 LET T=2XN
570 CALL PROV
580 LET C2=0
590 IF S2,,0 THEN 730
600 IF (1-D2)XSR=1 THEN 650
610 SET, 5, 5
620 WRITE, 5, Z6dYd01d74dE2dC1dZ5
630 PRINT, NOUVEAU DEPART
640 CHAIN RANDL, 210
650 FOR I=1 TO 2XN
660 LET T(I)=N(I)
670 NEXT I
680 LET D2=1
690 PRINT, STIMULUS ABANDONNE
700 SET, 3, (N+1)XD1
710 WRITE, 3, 01
720 GOTO 570
730 CALL AIX05
740 RESTORE
750 IF C2=1 THEN 210
760 FOR I=1 TO N
770 PRINT K(I)d
780 NEXT I
790 PRINT
800 LET Z5=Z5+1
810 IF Z5,L THEN 210
820 LET E2=Z5=0
830 IF Z1,F THEN 920
840 PRINT, CHOIX DE STIMULUSd
850 INPUT, 01
860 SET, 3, (N+1)XD1
870 IF D0,,GOUId THEN 910
880 WRITE, 3, 01
890 LET E2=1
900 GOTO 920
910 WRITE, 3, 0
920 SET, 5, 5
930 WRITE, 5, Z6dYd01dZ4dE2dC1dZ5
940 CHAIN MORPHO, 280
950 DATA 4, 0, 1, 1, 0, 0
960 END
```

LEN
ABOUT 2200 CHARS.

INSPEC 10, 46 TS-BPU 22/05/70

```
10 FOR I=1 TO N
20 LET K=I+N
30 LET T(I)=T(K)=U(I)=U(K)=W(I)=W(K)=1
40 FOR J=1 TO 2
50 LET K=K(I)+J-4
60 IF K, 0 THEN 90
70 LET V(I, J)=0
80 GOTO 110
90 IF K, L(I) THEN 70
100 LET V(I, J)=K
110 NEXT J
120 IF V(I, 4),, 1 THEN 150
130 LET T(I)=0
140 GOTO 170
150 IF V(I, 4),, L(I) THEN 170
160 LET T(I+N)=0
170 NEXT I
180 RESTORE, 4
190 IF Z9=0 THEN 510
200 FOR J=1 TO 29
210 LET K1=K2=K3=0
220 FOR I=1 TO N
230 READ, 4, K
240 IF K=0 THEN 300
```

```

16 250 LET K1=K-V(1,4)
17 260 IF K1=0 THEN 300
18 270 LET K2=K2+1
19 280 LET K3=1
20 290 LET K4=K1
21 300 NEXT J
22 310 IF K2,,1 THEN 320
23 320 LET V(K3,4+K4)=0
24 330 NEXT J
25 350 LET K1=0
26 360 LET K2=-1
27 370 FOR I=1 TO N
28 380 LET K3=1
29 390 IF T(1+K1*N)=0 THEN 470
30 400 IF V(1,4+K2*K3),,0 THEN 450
31 410 LET K3=K3+1
32 420 IF V(1,4)+K2*K3,,=1(1) THEN 440
33 430 IF V(1,4)+K2*K3,,0 THEN 460
34 440 LET T(1+K1*N)=0
35 450 GOTO 470
36 460 LET U(1+K1*N)=K3
LE 470 NEXT I
AB 480 IF K1,,0 THEN 510
490 LET K1=K2+1
500 GOTO 370
510 IF 0=0 THEN 530
520 LET T(S2)=0
530 RETURN

```

LEN
ABOUT 1200 CHARS.

IDSASS 18v48 TS-BRU 22/05/70

```

80 10 IF A,,=3 THEN 260
90 20 LET B=INT(1020/N)
10 30 IF Z6,,=B THEN 60
11 40 LET P1=B
12 50 GOTO 60
13 60 LET P1=Z6
14 70 IF Y8=0 THEN 190
15 80 RESTORE A
16 90 FOR J=1 TO P1
17 100 FOR I=1 TO M
18 110 READ A,R(I)
19 120 NEXT I
20 130 FOR I=1 TO M
21 140 IF R(I),,K(I) THEN 160
22 150 NEXT I
23 160 LET 0=1
24 170 RETURN
25 180 NEXT J
26 190 IF Z6,B THEN 410
27 200 RESTORE A
28 210 IF A,,1 THEN 250
29 220 LET 4=2
30 230 LET P1=Z6-B+1
31 240 GOTO 70
32 250 IF Z6=2*B THEN 440
33 260 LET P1=Z6-B+1
34 270 GOTO 410
35 280 LET K=(4-A)*Z1-(3-A)*Z9
36 290 RESTORE A
37 300 FOR J=1 TO K
38 310 FOR I=1 TO M+4-A
39 320 READ A,P(I)
40 330 NEXT I
41 340 FOR I=1 TO N
42 350 IF R(I)=0 THEN 370
43 360 IF R(I),,K(I) THEN 400
44 370 NEXT I
45 380 LET 0=1
46 390 RETURN
47 400 NEXT J
48 410 LET 0=0
49 420 IF S=0 THEN 460
50 430 RETURN

```

```
440 PRINT @PLUS D'ESPACE@
450 RETURN
460 LET P1=P1-1
470 LET P2=SGN(Z6-S*0,1)
480 LET P3=((1+P2)/2)*P1+((1-P2)/2)*Z5
490 SETV A, P3*N*1
500 FOR I=1 TO N
510 WRITEV A, K(I)@
520 NEXT I
530 LET Z6=Z6*1
540 IF Z6=B THEN 550
550 RETURN
560 SETV S, Z4
570 LET L=Z5*1
580 WRITEV S, L
590 RETURN
LEN
ABOUT 1200 CHARS.
```

AUX05 19, 01 TS-BRU 22/05/70

```
10 IF S2=N THEN 40
20 LET S3=S2
30 GOTO 50
40 LET S3=S2-N
50 LET K4=K(S3)
60 LET K(S3)=K4*U(S2)*SGN(S2-N-B,1)
70 READ A, O, S
80 CALL LOSASS
90 IF O=0 THEN 140
100 LET K(S3)=K4
110 PRINT @INTERDITE@
120 LET C2=1
130 GOTO 210
140 READ A, O, S
150 CALL LOSASS
160 IF O=0 THEN 100
170 IF Z1=F THEN 210
180 IF D=1 THEN 210
190 CALL AUX06
200 PRINT @PROB. CONDITIONNEMENT@
210 RETURN
```

LEN
ABOUT 600 CHARS.

AUX06 19, 02 TS-BRU 22/05/70

```
10 LET P1=G2*P3
20 LET P2=G1*(1-P3)
30 LET P1=(P3-P1+G3*(1-P3-P2))/(1-P1-P2)
40 LET P2=(P1+G4*P2)/(P1+P2)
50 LET D2=D
60 LET D=A*S1
70 LET S1=A
80 CALL DECIS
90 IF S1=0 THEN 120
100 LET D=1
110 GOTO 130
120 LET D=P4
130 RETURN
```

LEN
ABOUT 400 CHARS.

AUX07 19, 04 TS-BRU 22/05/70

```
10 LET E5=1
20 LET P5=1
30 FOR I=1 TO N
40 IF B(I), 0 THEN 60
50 LET P5=R9*XL(I)
60 NEXT I
70 LET P5=P5-1
80 LET G1=(P5-G5)/(G5*(G5+1))
90 LET G2=(P5-G6)/(G6*(G6+1))
```

```
100 IF G2 = 0 THEN 120
110 LET G2 = 0
120 IF G1 = 0 THEN 160
130 LET G1 = 0
140 LET G3 = 1
150 RETURN
150 LET P8 = 1 / (G7 * XL)
170 LET P7 = 1 - X2 + P8
160 LET G3 = P7 / (2 * (1 - G1))
180 LET G4 = P7 / (2 * G1)
200 SET, 5, 16
210 WRITE, 5, 61862863864
220 PRINT PARAMETRES9
230 PRINT USING 240, G1, G2, G3, G4
240 GAMMA 9, 999 OMEGA 9, 999 TETA9 9, 999 TETA1 9, 999
250 RETURN
```

LEN
ABOUT 800 CHARS.

AUX00 18, 06 TS-BPH 22/05/70

```
10 LET E6 = 1
20 LET P8 = 1 / (G7 * XL)
30 LET P7 = 1 - X2 + P8
40 LET J = 0
50 FOR I = 1 TO N
60 LET J = J + ABS(S(I) - K(I)) * SGN(B(I))
70 NEXT I
80 LET G1 = (J - 1) / (G7 * XL)
90 IF G1 = 1 THEN 130
100 LET G1 = 1
110 LET G3 = 0
120 GOTO 160
130 IF G1 = 0 THEN 150
140 LET G1 = 0
150 LET G3 = P7 / (2 * (1 - G1))
160 LET G4 = P7 / (2 * G1)
170 LET A9 = (1 + SGN(1 - G3)) / 2
180 LET A8 = (1 + SGN(1 - G4)) / 2
190 LET G3 = G3 * A9 + 1 - A9
200 LET G4 = G4 * A8 + 1 - A8
210 SET, 5, 16
220 WRITE, 5, 61862863864
230 PRINT PARAMETRES9
240 PRINT USING 250, G1, G2, G3, G4
250 GAMMA 9, 999 OMEGA 9, 999 TETA9 9, 999 TETA1 9, 999
260 RETURN
```

LEN
ABOUT 800 CHARS.

AUX02 18, 56 TS-BPH 22/05/70

```
10 IF Y = 3 THEN 70
20 PRINT GENREGISTREMENT DES STIMULI9
30 LET K = Z1
40 LET Y9 = Z1 * (N + 1) + 1
50 LET Z1 = Z1 + 1
60 GOTO 110
70 PRINT GENREGISTREMENT DES PLOCARRES9
80 LET K = Z9
90 LET Y8 = Z9 * N + 1
100 LET Z9 = Z9 + 1
110 INPUT F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F0
120 LET Y1 = X + 1
130 SET, Y1, X9
140 WRITE, Y1, F1dF2dF3dF4dF5dF6dF7dF8dF9dF0
150 IF X = 3 THEN 180
160 LET M = 0
170 WRITE, Y1, M
180 LET Y9 = K * (N + 1 - X) + 1
190 FOR I = 1 TO N
200 READ, Y1, K
210 NEXT I
220 PRINT ENCODE9d
```

```
230 INPUT PH
240 IF PR=0011d THEN 260
250 RESTORE V
260 WRITE, S, Z1dZ9d
270 RETURN
280 ON X-1 GOTO 30, 60
```

LEN
ABOUT 600 CHARS.

AUX03 18, 58 TS-BRU 22/05/79

```
10 PRINT qINDEX ET VALEURd
20 INPUT J, K
30 SET V, S, J
40 WRITE, S, Kd
50 PRINT qENCOREd
60 INPUT PH
70 IF PR=0011d THEN 10
80 RETURN
```

LEN
ABOUT 200 CHARS.

AUX04 18, 58 TS-BRU 22/05/79

```
10 LET E7=0
20 ON E2+1 GOTO 30, 70, 260
30 PRINT qSTIMULUS TIREd
40 LET O1=INT(RND(-P)*Z1)+1
50 PRINT D1
60 ON V+1 GOTO 100, 80, 80
70 PRINT qSTIMULUS CHOISId
80 INPUT D1
90 LET E2=2
100 SET V, D1+NX(O1-1)
110 FOR I=1 TO N+1
120 READ V, S, D
130 LET B(I)=INT(D*0.001)
140 PRINT B(I)d
150 NEXT I
160 PRINT
170 LET E7=1
180 LET P3=0
190 LET D=B(N+1)
200 LET S1=0
210 RETURN
```

LEN
ABOUT 600 CHARS.

APDEL 19, 08 TS-BRU 22/05/79

```
10 RETURN
```

PROV. 19, 09 TS-BRU 22/05/79

```
10 IF (1-E)*X(2-Y), 0 THEN 150
20 LET R(1)=T(1)
30 FOR I1=2 TO T
40 LET R(I1)=R(I1-1)+T(I1)
50 NEXT I1
60 IF R(T)=0 THEN 130
70 LET P1=RND(-P)*R(T)
80 FOR I1=T TO 1 STEP (-1)
90 IF P(I1), =P1 THEN 120
100 LET S2=I1
110 NEXT I1
120 RETURN
130 LET S2=0
140 RETURN
150 LET S2=INT(RND(-P)*T)+1
160 RETURN
```

LEN
ABOUT 400 CHARS.

DECIS 19, 10 TS-890 22/05/70

```
10 LET P=OXR1*(1-D)*R2.  
20 LET Q=OND(-P)  
30 IF P,=P4, THEN 50  
40 LET S1=1  
50 RETURN
```

LEM
ABOUT 200 CHARS.

LECFIC 19, 11 TS-890 22/05/70

```
10 RESTORE 5  
20 READ 5, Z1, Z6, R, L, ZAY, O1, Z4, R2, O1, Z5, Y2, E, F, P  
30 READ 5, G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, Y3, Q2, Q3, Q4  
40 FOR I=1 TO N  
50 READ 5, L(I)  
60 NEXT I  
70 IF S=0 THEN 130  
80 FOR I=1 TO N  
90 FOR J=1 TO L(I)  
100 READ 5, M(I, J)  
110 NEXT J  
120 NEXT I  
130 RETURN
```

LEM
ABOUT 400 CHARS.

PSILIN 19, 12 TS-890 22/05/70

```
10 INPUT PH  
20 FOR X=1 TO 10  
30 IF PH=LD(X) THEN 80  
40 NEXT X  
50 PRINT @COMMANDE EPRONE@  
60 LET Y=11  
70 RESTORE  
80 RETURN
```

LEM
ABOUT 200 CHARS.

```

FILE: MORPHC   FEETRAH. P1                                CAMBRIDGE MONITOR SYSTEM

C   PROGRAMME MORPHC                                       MOR00010
C   EXECUTION DES METHODES DE RANDOMISATION LIBRE ET DU CHEMIN MOR00020
C   ALÉATOIRE                                             MOR00030
C   VARIANTS ADAPTATIVE ET NON-ADAPTATIVE                MOR00040
C   FONCTIONS AUXILIAIRES:                               MOR00050
C   ENREGISTREMENT DE STIMULI                            MOR00060
C   ENREGISTREMENT DE BLOCCAGES                          MOR00070
C   CHANGEMENT DE PARAMETRES                             MOR00080
C   ELIMINATION DE STIMULI                               MOR00090
C   ELIMINATION DE BLOCCAGES                             MOR00100
C   ECRITURE DE SOLUTIONS                                 MOR00110
C   REPRISE DE LA DERNIERE METHODE UTILISEE             MOR00120
C   LISTE DE PARAMETRES                                  MOR00130
C   ARRÊT DU PROGRAMME                                    MOR00140
C   DIMENSION COMM(11),MORF(50,10),MORFST(20),
1   PCAC(10,12),XLAM(20),KSTIML(10,20),KBLCC(10,20),KSTOCK(1000), MOR00160
2   KARD(10),L1IR(200),LIEU(1),KRACC(1),KVSCM(10),LSTOCK(10,6) MOR00170
   COMMCA/ETIQ/IX,MCZ/ETIQ/KL,NEST,KBLCC,MSOCK,N,L,MEY,KCH,JPCN, MOR00180
1   MINST,JORIG,MXPR,MRET,KAUT,KOTPD,MESS,NDEP,BLTR,SCOND,PROPZ, MOR00190
2   PROPL,CYGA,GAMMA,TE12,TE2A/ETIQ/PCAD,XLAW/ETIQ4/KSTOCK,KVSCM MOR00200
3   KRACC/ETIQ5/KAPD,JCHCIX,CLT,KEST,KREP,ICHCIX,KNSCL,NFT,KN,KSMET MOR00210
4   /ETIQ6/MCPF
   IF(KNSCL.EQ.0)GOTO 1
C   CODAGE ET TITRES DU PROBLEME                          MOR00220
   WRITE(6,1420)                                          MOR00230
   WRITE(6,1485)                                          MOR00240
   WRITE(6,1485)                                          MOR00250
   WRITE(6,1490)                                          MOR00260
   READ(5,1485)(MORFST(I),I=1,20)                         MOR00270
   WRITE(6,1500)(MORFST(I),I=1,20)                       MOR00280
1   NE=NRCT                                              MOR00290
   KRACC(N)=1                                             MOR00300
C   VECTEUR AUXILIAIRE POUR LE CODAGE                    MOR00310
   N1=N-1                                                 MOR00320
   DO 5 I=1,N1                                           MOR00330
5   KRACC(N-I)=KRACC(N-I+1)*KARD(N-I+1)                 MOR00340
   LST=0                                                 MOR00350
C   OPTION POUR LA REPRISE DE RESULTATS ANTERIEURS     MOR00360
   IF(KNSCL.NE.0)WRITE(6,1002)                           MOR00370
   KNSCL=MET                                              MOR00380
   READ(5,1012)CONTI                                     MOR00390
   IF(CONTI.EQ.CLT)CALL STEIG(1,KSTIML,KBLCC,LIEU)       MOR00400
C   IMPRESSION DE LA MORPHOLOGIE                         MOR00410
   WRITE(6,1004)                                          MOR00420
   DO 8 I=1,N                                             MOR00430
   K=4*(KARD(I)+1)                                       MOR00440
   IF(KARD(I).GT.6)GOTO 6                                MOR00450
   WRITE(6,1005)(MORF(J,I),J=1,K)                       MOR00460
   GOTO 8                                                 MOR00470
6   WRITE(6,1005)(MORF(J,I),J=1,29)                     MOR00480
   WRITE(6,1007)(MORF(J,I),J=29,K)                     MOR00490
8   CONTINUE                                             MOR00500
   IF(KNSCL.NE.0)GOTO 10                                 MOR00510
   WRITE(6,1000)                                          MOR00520
   WRITE(6,1040)                                          MOR00530
10  IF(KNSCL.EQ.0)WRITE(6,1011)                          MOR00540
   JSOCK=0                                               MOR00550
   NLT=0                                                 MOR00560
   ACTP=0                                               MOR00570
   KN=0                                                 MOR00580
C   LECTURE DES COMMANDES                                MOR00590
   READ(5,1012)COMM,KCHCIX,MORF                          MOR00600
   IF(KNSCL.EQ.0)WRITE(6,1270)COMM                       MOR00610
   DO 12 JCHCIX=1,11                                     MOR00620
   IF(COMM.EQ.COMM(JCHCIX))GOTO 15                       MOR00630
12  CONTINUE                                             MOR00640
   WRITE(6,1014)                                          MOR00650
C   RECHERCHE D'UNE NOUVELLE COMMANDE APRES UNE COMMANDE ERRENEE MOR00660
   GOTO 17                                               MOR00670
15  GOTO(20,40,80,120,160,190,290,300,310,330,600),JCHCIX MOR00680
C   BLOC D'ENREGISTREMENT DE STIMULI                     MOR00690
20  WRITE(6,1030)                                         MOR00700
35  NEST=NEST + 1                                        MOR00710
   READ(5,1000)(KSTIML(I,NEST),I=1,10)                 MOR00720
   WRITE(6,1030)(KSTIML(I,NEST),I=1,10)                 MOR00730

```

	GETC 60	MCR00750
C	BLOC D'ENREGISTREMENT DE BLOCAGES	MCR00760
40	WRITE(6,1050)	MCR00770
55	NBLCC=NBLCC+1	MCR00780
	READ(5,1055)(KBLCC(I,NBLCC),I=1,N)	MCR00790
	WRITE(6,1060)(NBLCC,(KBLCC(I,NBLCC),I=1,N)	MCR00800
C	OPTION POUR REPETITION(MANUEL) - COMPTAGE DES CYCLES(AUTOMATIQUE)	MCR00810
60	CALL OPTION(MAUT,KAUT,ACTP,1,8),835,855	MCR00820
C	BLOC DE CHANGEMENT DE VALEUR DES PARAMETRES	MCR00830
80	WRITE(6,1090)	MCR00840
95	WRITE(6,1100)	MCR00850
	CALL ALTPAR	MCR00860
C	OPTION POUR REPETITION(MANUEL) - COMPTAGE DES CYCLES(AUTOMATIQUE)	MCR00870
	CALL OPTION(MAUT,KAUT,ACTP,3,810,835,855)	MCR00880
C	BLOC D'ELIMINATION (ENTREE STIMULI)	MCR00890
120	NEST=NEST-1	MCR00910
	DO 140 I=KCHCIX,NEST	MCR00910
140	XLAM(I)=XLAM(I+1)	MCR00920
	XLAM(NEST+1)=0	MCR00930
	WRITE(6,1130)(KSTIML(I,KCHCIX),I=1,N)	MCR00940
	IF((NEST+1).EQ.MINST)WRITE(6,1140)	MCR00950
	NAUX=NEST	MCR00960
	GETC 160	MCR00970
C	BLOC D'ELIMINATION (ENTREE BLOCAGES)	MCR00980
150	NBLCC=NBLCC-1	MCR00990
	WRITE(6,1160)(KBLCC(I,KCHCIX),I=1,N)	MCR01000
	NAUX=NBLCC	MCR01010
160	DO 180 J=KCHCIX,NAUX	MCR01020
	DO 190 I=1,N	MCR01030
	IF(JCHCIX.EQ.4)GOTO 170	MCR01040
	KBLCC(I, J)=KBLCC(I, J+1)	MCR01050
	GOTO 180	MCR01060
170	KSTIML(I, J)=KSTIML(I, J+1)	MCR01070
180	CONTINUE	MCR01080
C	RECUP DIRECT A LA POSITION DE LECTURE DE COMMANDE (PAS D'OPTION	MCR01090
C	POUR REPETITION(AI DE COMPTAGE DE CYCLES)	MCR01100
	GETC 190	MCR01110
C	BLOC D'IMPRESSON DE SOLUTIONS (APPEL DIRECT OU SEQUENCE DES	MCR01120
C	SOLS-ROUTINES METHODE)	MCR01130
C	ICI L'ENTREE EN CAS D'APPEL DIRECT	MCR01140
190	IF(KCHCIX.EQ.4)GOTO 210	MCR01150
	KCNT=KCHCIX	MCR01160
	KORD=NCPC+KCHCIX-1	MCR01170
	GETC 210	MCR01180
C	ICI L'ENTREE EN CAS DE SEQUENCE D'UNE SOLS-ROUTINE METHODE	MCR01190
210	KORD=NSTOCK	MCR01200
C	PRISE EN COMPTE D'UN POINT DE DEPART COMMANDE PAR CHALET	MCR01210
	IF(LST.EQ.0)GETC 215	MCR01220
	KCNT=LST	MCR01230
	LST=0	MCR01240
	GETC 212	MCR01250
215	KCNT=L	MCR01260
218	WRITE(6,1200)	MCR01270
220	JDEP=KORD-KCNT	MCR01280
	KMIN=MIN(NIMPR,KCNT)	MCR01290
	DO 225 J=1,KMIN	MCR01300
C	ECCOAGE DES SOLUTIONS A IMPRIMER	MCR01310
	CALL KCE(LIEL,KSTOCK(JDEP+J),N,2)	MCR01320
C	STOCKAGE DES SOLUTIONS SOLS FORME DE VECTEURS	MCR01330
	DO 225 I=1,N	MCR01340
225	LSTOCK(I, J)=LIEL(I)	MCR01350
	KMPR=4*(KMIN+1)	MCR01360
C	CONSTRUCTION DE LA LIGNE A IMPRIMER	MCR01370
	DO 260 I=1,N	MCR01380
	DO 230 J=1,4	MCR01390
230	MCFST(J)=MCF(I, J)	MCR01400
	DO 240 J=1,KMIN	MCR01410
	KEXP=4*LSTOCK(I, J)	MCR01420
	J4=4*J	MCR01430
	DO 240 K=1,4	MCR01440
240	MCFST(J4+K)=MCF(KEXP+K, I)	MCR01450
260	WRITE(6,1270)(MCFSTIK),K=1,KENDP)	MCR01460
	WRITE(6,1280)	MCR01470
C	PREPARATION DE LA LIGNE SUIVANTE DE SOLUTIONS SI ELLE EXISTE	MCR01480
	KCNT=KCNT-NIMPR	MCR01490
	IF(KCNT.GT.0)GOTO 220	MCR01500
C	EN CAS D'APPEL DIRECT - OPTION POUR REPETITION DIRECTSOL	MCR01510
C	EN CAS DE SEQUENCE D'UNE METHODE - OPTION POUR REPETITION	MCR01520
C	DE LA METHODE	MCR01530

```

CALL OPTIM(NAL1,KALI,NCTR,6,810,6150,8151)
C BLOC DE DISPLAY
299 WRITE(6,1510)
CALL DISP(TITR,NFEO,KCHFCX)
C COTE 1°
C BLOC D'APPEL DE LA METHODE DE CANDIDISATION LIBRE
300 IF(KCHFCX.EQ.0)IF(JSTOCK=0)GOTO 302,305,302
C STRATEGIE CHOISIE
MET=KCHFCX
GOTO 305
302 JSTOCK=JCHFCX
C OPTION PAR DEFALT POUR LA STRATEGIE
MET=KSNST
305 CALL CAND(KSTIYL,KBLDG,LIEU,8210)
C CONTINUATION AVEC UNE METHODE (COMMANDE SUITE)
310 IF(MCI.LT.3)GOTO 305
C APPEL DE LA METHODE DU CHEMIN ALEATOIRE
320 CALL CHALET(KSTIYL,KBLDG,LIEU,8210)
330 MET=?
IF((MCTR.NE.0).OR.(KCHFCX.EQ.0))GOTO 320
C BLOC DE CHOIX DE POINT DE DEPART POUR LE CHEMIN ALEATOIRE
IF((NDEF.EQ.0).AND.(MCTR.EQ.0)).OR.(KCHFCX.EQ.0)GOTO 320
WRITE(6,1037)
KA=C
NSTOCK=NSTOCK+1
READ(5,1002)(L)EC(I),I=1,4)
C LECTURE ET CODAGE DU POINT DE DEPART CHOISI
CALL MCC(LIEU,KSTOCK(NSTOCK),N,1)
LST=L+1
GOTO 320
C STOCKAGE DES PARAMETRES ET DES RESULTATS OBTENUS POUR
C UNE EVENTUELLE REPRISE DANS UNE AUTRE SEANCE
600 CALL STPIC(2,KSTIYL,KBLDG,KSTOCK,LIEU)
STOP
1002 FORMAT(1X,'S'AGIT-IL D'UNE CONTINUATION?')
1003 FORMAT(10I2)
1004 FORMAT(//50X,'MORPHOLOGIE ORIGINALE'//)
1005 FORMAT(1X,7(4A4,2X))
1007 FORMAT(15X,6(4A4,2X))
1011 FORMAT(//1X,'SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES')
1012 FORMAT(A4,2X,12,1X,1E)
1014 FORMAT(1X,'COMMANDE BRPCNES')
1020 FORMAT(//1X,'ENREGISTREMENT DE STIMULI')
1037 FORMAT(1X,'CHOIX DE POINT DE DEPART')
1038 FORMAT(1X,'STIMULES NO.',2X,12,10X,10I3)
1050 FORMAT(//1X,'ENREGISTREMENT DE BLOCAGE')
1060 FORMAT(1X,'BLOCAGE NO.',2X,12,10X,10I3)
1070 FORMAT(//1X,'CHANGEMENT DE PARAMETRES')
1100 FORMAT(1X,'INDEX ET VALEUR')
1130 FORMAT(//1X,'STIMULUS ELIMINE',2X,10I3)
1145 FORMAT(25X,10I3//)
1146 FORMAT(1X,'LE MODELE CESSE D'INTERVENIR')
1160 FORMAT(//1X,'BLOCAGE ELIMINE',2X,12I3)
1270 FORMAT(1X,4A4,1X,'**',1X,6(4A4,1X))
1280 FORMAT(//)
1435 FORMAT(//50X,'RECHERCHE MORPHOLOGIQUE'//)
1450 FORMAT(1X,'SUJET ETUDIE')
1435 FORMAT(2734)
1500 FORMAT('++',16X,20A4)
1510 FORMAT(//15X,'PARAMETRES DU PROBLEME'//)
1520 FORMAT(//1X,120('**'))
1540 FORMAT('')
DATA COMM/REGS,'REGS','ALTO','ELST','ELAL','ECHR',
1'DISP','RAND','SLIT','CHAL','STOP'/
DATA TITR/' COMPTEUR DES STIMULI',
1 COMPTEUR DES BLOCAGES', COMPTEUR DES SOLUTIONS',
2 TICSS', NOMBRE DE FORMATEURS',
IMPRES DE SOLUTIONS PAR SORTIE', INDICATEUR DE LA METHODE CHOISIE
21E(1)', INDICATEUR DE SELECTION DE STIMULUS(2)',
3INDICATEUR DE FUNDATION', NOMBRE DE STIMULI EXIGE PAR LE MODEME
4LE', INDICATEUR DE TEST D'ORIGINALITE(3)', NOMBRE DE SOLS
5 PAR LIGNE D'IMPRESSION', VAR. DE DECALAGE DES NOMBRES ALEATOIRE
6S', INDICATEUR D'ALICHAISATION(4)', INDICATEUR D'IMPRES
7MPRESSION COORDONNEES(5)', INDICATEUR D'IMPRESION MESS. AUXILI
9E1)', VAR. CONTROLE DEUT CHALET', NOMBRE DE SORTIES
9VOLUES AVANT LE COND.', NOMB. NON COND. APRES SORTIES
1,'PROP. REPENSE INCORR./CORR. AVANT COND.', 'P.L.P. REPENSES INCORR
2./CORR. APRES COND.'/
END

```

```

MCR01540
MCR01550
MCR01560
MCR01570
MCR01580
MCR01590
MCR01600
MCR01610
MCR01620
MCR01630
MCR01640
MCR01650
MCR01660
MCR01670
MCR01680
MCR01690
MCR01700
MCR01710
MCR01720
MCR01730
MCR01740
MCR01750
MCR01760
MCR01770
MCR01780
MCR01790
MCR01800
MCR01810
MCR01820
MCR01830
MCR01840
MCR01850
MCR01860
MCR01870
MCR01880
MCR01890
MCR01900
MCR01910
MCR01920
MCR01930
MCR01940
MCR01950
MCR01960
MCR01970
MCR01980
MCR01990
MCR02000
MCR02010
MCR02020
MCR02030
MCR02040
MCR02050
MCR02060
MCR02070
MCR02080
MCR02090
MCR02100
MCR02110
MCR02120
MCR02130
MCR02140
MCR02150
MCR02160
MCR02170
MCR02180
MCR02190
MCR02200
MCR02210
MCR02220
MCR02230
MCR02240
MCR02250
MCR02260
MCR02270
MCR02280
MCR02290
MCR02300
MCR02310
MCR02320

```

```

C
C
C
C
C
      BLOCK DATA
      DIMENSION PCND(1,12), XLAM(30), KORD(12,10), KARD(10), ISTR(17)
      1, XREAL(8), K1(3), KST(1000), KVSOM(10)
      COMMON/ET102/INTR, XREAL/ET103/PCND, XLAM/ET104/KST, KVSOM
      1/ET105/KARD, I, CUI, K1, KLNSEL, NET, KN/ET106/MORE
C
      KLNSEL DIFFERENT DE ZERO POUR LE TRAVAIL EN CONVERSATIONNEL
      DATA PCND, XLAM, CUI, KLNSEL, NET, KN/120*1, 30*1, 1001, 1, 2*1/
C
      PARAMETRES EFFETS: PL, NEST, NBLCC, NSTOCK, N, L, NET, KCH, JPCN,
C
      MINST, JCHIX, NIXOP, NDET, KAUT, KRCRC, MESS, NDEP
C
      DATA INTR/4*0, 5, 4, 1, 1, 0, 3, 1, 5, 927, 0, 1, 1, 0/
C
      PARAMETRES REFLS: ALTR, SCND, PROPZ, PRCP, OMEGA, GAMMA, TETAZ,
C
      TETA1
C
      DATA XREAL/2., 0.1, 2., 2., 0.5, 2*0./
C
      CARDINALY DES COORDONNEES
      DATA KARD/8, 2, 2, 7, 5, 5*1/
C
      VECTEUR AUXILIAIRE POUR LE DECODAGE DES POINTS (N-1 COMPOSANTES
C
      EGALES A 1 ET LA N-IEME EGALE A ZERO)
      DATA KVSOM /4*1, 6*1/
C
      PAINTENANT LA MORPHOLOGIE ET LES DONNEES POUR LE TEST AUTOMATIQUE
C
      S'IL Y EN A
      DATA MORE/1/
      1'CHAMPS MAGN. ', 'EAU ', 2*' ', 'AIR ', 3*' ', 'CHAMPS ELETRO. ',
      2'CHAMPS MAGN. ', 'EAU ', 2*' ', 'CORCE ', 2*' ', 'RESSORT ',
      3'41*' ', 'CORCE ', 2*' ', 'LONGITUDINAL ', ' ', 'TRANSVERSAL ',
      4'2*' ', 'SPHERIQUE ', 2*' ', 'LINEAIRE ', 2*' ', 'PLANE ',
      5' ', 'RADIO ', 2*' ', 'INFRAROUGE ', ' ', 'VISIBLE ', 2*'
      6' ', 'ULTRAVIOLET ', ' ', 'RAYON X ', 2*' ', 'GAMMA ', 2*' ',
      7'OBSTACLE ', 2*' ', 'REFLEX. TOTALE ', 'REFLEX. PARTIELLE ', 'ABSORPT
      8'ION ', ' ', 'DIFFRACTICH ', ' ', 'PAS D'EFFET ', 29*' ',
      9'65*'
      END
C
C
C
C
C
      SUBROUTINE RANDI(/KSTIML/, /KPLCC/, /LIEU/, *)
      EXECUTION DE LA METHODE DE RANDOMISATICA LIBRE
      VERSIONS ADAPTATIVE ET NON-ADAPTATIVE
      INTEGER STIM(10)
      DIMENSION SORT(12), PCND(1,12), XLAM(30), KARD(10), LIEU(10), ACCU(12)
      1, KSTIML(10,30), KPLCC(10,20)
      COMMON/ET102/K1, NEST, NBLCC, NSTOCK, N, L, NET, KCH, JPCN, MINST
      1, JCHIX, K2(2), KAUT, KRCRC, MESS, NDEP, ALTR, SCND, PROPZ, PRCP, OMEGA,
      2GAMMA, TETAZ, TETA1/ET103/PCND, XLAM
      3/ET105/KARD, JCHIX, CUI, NEST, KREF, ICHIX, K3, NET, KN
      IF((KAUT.NE.0).OR.(NEST.LT.MINST))GO TO 1
C
      BLOC DE DECISION SUR LE CHOIX DU STIMULUS
      KCH=1
      IF(MET.EQ.1)GO TO 1
      CALL ECRIT(6, N, LIEU)
      REA(5, 120)REF
      IF(REF.EQ.0)KCH=2
      1 KSTIM=KCH
      NDEP=1
      IF(MET.NE.3)KL=0
      KREF=0
      MARC2=0
      NEFI=0
      NCFIG=0
C
      DEVIATION POUR STRATEGIE NON-ADAPTATIVE
      10 IF((MET.EQ.2).OR.(NEST.LT.MINST))GO TO 90
      MARC1=0
C
      SELECTION D'UN STIMULUS
      20 CALL ISTM(I, STIM, KEST, KSTIML)
      MARC1=1
C
      DETOUR DU CALCUL DES PARAMETRES POUR LE TRAVAIL AVEC UN SEUL
C
      STIMULUS PAR SERIE DE POINTS
      30 IF((MARC2*MET).EQ.2)GO TO 50
      MARC2=1
C
      BLOC DE CALCUL DES PARAMETRES
      KPRCD=1
      DO 40 I=1, N
      IF(STIM(I).NE.0)KPRCD=KPRCD*KARD(I)

```

```

40 CONTINUE
   KPRCO=KPCFD-1
   GAMMA=(KPRCO-PCOPZ)/(KPROD*(PCOPZ+1))
   OMEGA=(KPCFD-PCOP1)/(KPROD*(PCOP1+1))
C   SECURITE POUR DES VALEURS INCOMPATIBLES DES PARAMETRES
   IF(OMEGA.CE.0)GOTO 50
   OMEGA=0
50 IF(GAMMA.GE.0)GOTO 60
   GAMMA=0
   TETAZ=1
   GOTO 80
60 EPS=1-SCONS*(1)/(BLIIR*L)
   TETAZ=EPS/(2*(1-GAMMA))
   TETA1=EPS/(2*GAMMA)
   IF(MESS.EQ.0)GOTO 80
   CALL ECRIT(7,N,LIEU)
   WRITE(6,12)GAMMA,OMEGA,TETAZ,TETA1
C   DETECTION DE L'ETAT DU MODELE PAR RAPPORT AU STIMULUS CONCERNE
80 ICFOIX=IFIX(XLX*(KSTI)+C.7001)
C   CHOIX ALÉATOIRE DE LA RÉPONSE DU MODÈLE
   CALL DECIS(OMEGA,GAMMA,PR,ICFOIX,KREP)
   IF(MESS.NE.0)CALL ECRIT(KREP,N,LIEU)
C   BLOC DE TIRAGE (DANS LA METHODE ADAPTATIVE ON RETIEN LES
C   COMPOSANTES QUI DEGRADENT LE STIMULUS)
90 DO 130 I=1,N
   IF((1-NEST*(1-KREP)).LT.MINST).CF.(MET.EC.3)GOTO 100
   LIEU(I)=STIM(I)
   IF(STIM(I).NE.0)GOTO 130
100 IF((JFCN.EQ.0).AND.(MET.NE.1))GOTO 120
   SJ=KARE(I)
   DO 110 J=1,IJ
110 SCRT(J)=FCHI(I,J)
120 CALL PFOV(ACCU,SCRT,KARD(I),LIEU(I))
130 CONTINUE
   IREP=0
C   INSPECTION DE BLOCAGES
   CALL IDSASS(3,KELCO,20,IREP,NBLOQ,3,LIEU)
   IF(IREF.EQ.0)GOTO 140
   NFBL=NFEL+1
   IF(NFBL-L)117,145,145
C   140 INSPECTION DE TIRAGE ANTERIEUR DU POINT
   CALL IDSASS(1,KSTIML,20,IREF,NSTOCK,JR,LIEU)
   IF(IREP.EQ.0)IF(KORD)170,180,170
   NCRIG=NCRIG+1
   IF(NCRIG.LT.1)GOTO 10
C   145 COMPTEUR GENERAL D'ECHECS
   NFI=NFI+1
   IF(MESS.NE.0)WRITE(6,1250)NFI
   IF(NFI.GE.L)GOTO 160
   IF(NEST.LT.MINST)GOTO 50
   CALL ECRIT(2,N,LIEU)
   KCF=1
   GOTO 10
C   160 ARRÊT COMMANDE PAR LE COMPTEUR GENERAL D'ECHECS
   CALL ECRIT(4,N,LIEU)
   CALL STFC(2)
   STCP
170 CALL ECRIT(2,N,LIEU)
180 KL=KL+1
C   OPTION POUR L'APPEL D'UNE SOUS-ROUTINE DE JUGEMENT
   IF(JFCN.EQ.1)GOTO 190
   CALL APOEL
C   RETOUR D'UN NOLVIA) DEPART DEMANDE PAR CHALET
185 IF(JCFIX.EQ.1)RETURN 1
C   CHOIX ALÉATOIRE DE TRANSITION DU NOLV D'ETA1, SI LA METHODE
C   EST ADAPTATIVE ET SI LA TRANSITION AIA PAS ENCORE EU LIEU
190 IF((NEST.LT.MINST).OR.(ICFOIX.FO.1))GOTO 200
   CALL CONDIX(XLX*(KSTI))
   IF(MESS.NE.0)WRITE(6,1220)XLX*(KSTI)
200 IF(KL.LT.L)GOTO 10
   IF(NEST.LT.MINST)RETURN 1
   KCF=KSTCH
   RETURN 1
1220 FORMAT(12,'PRECEABILITE DE CONDITIONNEMENT ',F6.2)
1240 FORMAT(A4)
1250 FORMAT(1X,'L TIRAGES NON REUSSIS,COMPTEUR = ',I2)
1300 FORMAT(1X,'GAMMA ',F6.3,' OMEGA ',F6.3,' TETAZ ',F6.3,' TETA1
1,F6.3)
   END

```

MOR03120
MOR03121
MOR03140
MOR03150
MOR03161
MOR03170
MOR03180
MOR03190
MOR03200
MOR03210
MOR03220
MOR03231
MOR03240
MOR03251
MOR03260
MOR03270
MOR03280
MOR03290
MOR03300
MOR03310
MOR03321
MOR03331
MOR03340
MOR03350
MOR03360
MOR03370
MOR03381
MOR03390
MOR03400
MOR03410
MOR03420
MOR03430
MOR03440
MOR03450
MOR03460
MOR03470
MOR03480
MOR03490
MOR03500
MOR03510
MOR03520
MOR03530
MOR03540
MOR03550
MOR03560
MOR03570
MOR03580
MOR03590
MOR03600
MOR03610
MOR03620
MOR03630
MOR03640
MOR03650
MOR03660
MOR03670
MOR03680
MOR03690
MOR03700
MOR03710
MOR03720
MOR03730
MOR03740
MOR03750
MOR03760
MOR03770
MOR03780
MOR03790
MOR03800
MOR03810
MOR03820
MOR03830
MOR03840
MOR03850
MOR03860
MOR03870
MOR03880
MOR03890
MOR03900
MOR03910


```
TETAZ=1
TETA1=EPS/2
C010 130
100 GAMMA=EMFCA
120 TETAZ=EPS/(2*(1-GAMMA))
TETA1=EPS/(2*GAMMA)
C SECURITE CONTRE L'UTILISATION DE PARAMETRES INCOMPATIBLES
130 SA=(1+SIGN(1.,1.-TETAZ))/2
SB=(1+SIGN(1.,1.-TETA1))/2
TETAZ=TETAZ*SA+1-SA
TETA1=TETA1*SB+1-SB
135 IF(KCCPD.EQ.0)GOTO 140
CALL ECRIT(7,N,LIEU)
WRITE(6,100)GAMMA,OMEGA,TETAZ,TETA1
C DETECTION DE L'ETAT DU MODELE PAR RAPPORT AU STIMULUS CONCERNE
140 JCHOIX=IFIX(XLAN(KEST)+0.5)
CALL DECIS(OMEGA,GAMMA,OR,ICHOIX,KREP)
IF(MESS.NE.0)CALL ECRIT(KREP,N,LIEU)
C FERMETURE DES POSITIONS NE CORRESPONDANT PAS A LA REPONSE DONNEE
JDIF=0
DO 145 I=1,N
IF(STIM(I),NE.0)JDIF=JDIF+1AFS(LIEU(I)-STIM(I))
145 CONTINUE
DO 150 I=1,N
IF(STIM(I),EQ.0)IF(KREP)150,170,190
IF(KREP.EQ.C)IF(JDIF)185,150,185
170 POSIT(1+N)=0
180 ECRIT(I)=0
GOTO 190
185 IF((LIEU(I)-STIM(I)).LT.0)GOTO 190
POSIT(I+N)=0
190 CONTINUE
C TIRAGE DE LA DIRECTION DE SAUT
200 CALL PROC(ACCU,POSIT,2*N,NREP)
IF(NREP.NE.0)GOTO 230
C NOUVEAU DEPART SI L'ABANDON DU STIMULUS N'A PAS FOURNI UNE
C DIRECTION UTILISABLE
C INTERRUPTION DU PROCESSUS ET DEMANDE D'UN NOUVEAU POINT
C DE DEPART
IF(NABAN.EQ.0).AND.(NARC1.EQ.1)GOTO 210
CALL ECRIT(9,N,LIEU)
KN=C
CALL RANDL(KSTIML,KOLOQ,LIEU,S1)
C ABANDON DU STIMULUS (COUVERTURE DES POSITIONS FERMEES APRES
C LA REPONSE) S'IL N'YA PAS DE DIRECTION DE SAUT UTILISABLE
C REPRISE DU VECTEUR DES DIRECTIONS
210 DO 220 I=1,N2
220 POSIT(I)=RESA(I)
NABAN=1
IF(MESS.NE.0)CALL ECRIT(5,N,LIEU)
XLAN(KEST)=0
GOTO 200
C PREPARATION POUR LE SAUT
230 IF(NREP.GT.N)GOTO 240
LREP=NREP
GOTO 250
240 LREP=NREP-N
250 LEST=LIEU(LREP)
S=NREP-N-0.1
C GENERATION D'UN NOUVEAU POINT
LIEU(LREP)=LEST+KRES(NREP)*SIGN(1.,S)
LREP=C
GOTO 270
260 LIEU(LREP)=LEST
IF(MESS.NE.0)CALL ECRIT(9,N,LIEU)
LREP=NREP
GOTO 50
C INSPECTION DU POINT ET STOCKAGE S'IL N'ETAIT PAS SORTI AUPARAVANT
270 CALL IDSASSI,KSTIML,F1,LREP,NSTOCK,JE,LIEU)
IF(LREP.NE.0)GOTO 260
IF(S)273,273,274
273 LREP=NREP+1
GOTO 275
274 LREP=NREP-N
275 NREP=N
C OPTION POUR L'APPEL DE LA SOUS-ROUTINE DE JUDGMENT
IF(JPON.NE.0)CALL APPEL
IF((KEST.LT.MINST).OR.(ICHOIX.EQ.1))GOTO 290
MOR04680
MOR04690
MOR04700
MOR04710
MOR04720
MOR04730
MOR04740
MOR04750
MOR04760
MOR04770
MOR04780
MOR04790
MOR04791
MOR04800
MOR04810
MOR04820
MOR04830
MOR04840
MOR04850
MOR04860
MOR04870
MOR04880
MOR04890
MOR04900
MOR04910
MOR04920
MOR04930
MOR04940
MOR04950
MOR04960
MOR04970
MOR04980
MOR04990
MOR05000
MOR05010
MOR05020
MOR05030
MOR05040
MOR05050
MOR05060
MOR05070
MOR05080
MOR05090
MOR05100
MOR05110
MOR05120
MOR05130
MOR05140
MOR05150
MOR05160
MOR05170
MOR05180
MOR05190
MOR05200
MOR05210
MOR05220
MOR05230
MOR05240
MOR05250
MOR05260
MOR05270
MOR05280
MOR05290
MOR05300
MOR05310
MOR05320
MOR05330
MOR05340
MOR05350
MOR05360
MOR05370
MOR05380
MOR05390
MOR05400
MOR05410
MOR05420
MOR05430
MOR05440
MOR05450
```

```
C      CHOIX ALÉATOIRE DE CHANGEMENT OU NON D'ETAT, SI LE CHANGEMENT N'EST PAS ENCORE FU LIEU
C      CALL CENAC(XLAM(KAS1))
IF(RESS.NF.0)WRITE(6,1010)XLAM(KAS1)
280 IF(KCRO.NE.0)CALL ECRIT(2,N,LIEU)
   KL=KL+1
   IF(KL.LT.1)GOTO 50
   KL=0
   IF(KAS1.LT.MINST)RETURN 1
   KA=KA+1
   KCF=KSTCF
   IF((FLOCAT(KN)+2.0011).LE.BUTIR)RETURN 1
C      PREPARATION POUR LE TIRAGE D'UN NOUVEAU STIMULUS LORS DE L'APPEL
C      SUIVANT DE CHALET.
   KA=0
   IF(DEF.EC.0)GOTO 310
   XLAM(KAS1)=0
310 DO 220 I=1,NEST
   IF(I.EC.KEST)GOTO 220
   XLAM(I)=0
320 CONTINUE
   RETURN 1
1000 FORMAT(1X,'GAMMA ',F6.3,' OMEGA ',F6.3,' TETAZ ',F6.3,' TETA1 ',F6.3)
1010 FORMAT(1X,'PROBABILITE DE CONDITILANEMENT ',F6.3)
1020 FORMAT(A4)
   ENG
C
C
C
C
C
C      SUBROUTINE ICSASS(ID,/MAT/,N,KA,KB,JP,/VEC/)
C      SOUS-ROUTINE D'INSPECTION, STOCKAGE ET COMPTAGE DE VECTEURS
      INTEGER VEC(10)
      DIMENSION MAT(10,M),KSTOCK(1000)
      COMMON/ETIQ2/KJ(4),N,KP(5),JCRIG/ETIQ4/KSTOCK
      GOTC(7),I0,I01,IC
C      INSPECTION DE STIMULI OU DE BLOCAGES
10 IF(KB)55,55,20
30 DO 50 J=1,KB
   DO 40 I=1,N
C      KA=C EST UTILISE POUR VERIFIER L'EGALITE
C      KA DIFFERENT DE ZERO EST UTILISE POUR VERIFIER L'APPARTENANCE
   IF((MAT(I,J)+VEC(I)*KA).EC.0)GOTO 40
   IF(VEC(I).NE.MAT(I,J))GOTO 50
40 CONTINUE
45 KA=1
   RETURN
50 CONTINUE
C      PARAMETRE DE STOCKAGE
55 IF(JP.NE.0)GOTO 100
   KA=0
   RETURN
C      LES SOLUTIONS SONT CODEES AVANT L'INSPECTION OU LE STOCKAGE
C      LE STOCKAGE DES SOLUTIONS EST OBLIGATOIRE
70 CALL KOC(VEC,KO,N,1)
   IF(JOP.EC.0)GOTO 95
C      INSPECTION DES SOLUTIONS
   DO 80 J=1,KB
   IF(KO.EC.KSTOCK(J))GOTO 45
90 CONTINUE
C      COMPTAGE ET STOCKAGE DE SOLUTIONS
55 KB=KB+1
   KSTOCK(KB)=KO
   GOTO 120
C      COMPTAGE ET STOCKAGE DE STIMULI OU DE BLOCAGES
100 DO 110 I=1,N
110 MAT(I,KB+1)=VEC(I)
   KB=KB+1
120 KA=0
   RETURN
   END
C
C
C
C
C
C
```

```

SUBROUTINE CLNDIC(PROB) MOR06240
C SOLS-ROUTINE DE PREPARATION POUR LE CHOIX ALEATOIRE DE CHANGEMENT MOR06250
C DU NOM D'ETAT MOR06260
C DIMENSION F(4,2),XLAM(30) MOR06270
COMMON/ETIQ2/K1,NEST,R2(35),S1(4),LYEGA,GAMMA,TETA2,TETA1 MOR06280
1/ETIQ2/PCAP,XLAM/ETIQ5/K2(11),OUI,KFST,KREF,ICHCIX MOR06290
C CALCUL DES PROBABILITES CONDITIONNELLES DE TRANSITION D'ETAT MOR06300
R1=LYEGA*PRCP MOR06310
R2=GAMMA*(1-PRCB) MOR06320
IF((R1+R2).LT.1)GOTO 10 MOR06330
R1=1 MOR06340
GOTO 20 MOR06350
10 R1=(PRCB-R2)+TETA2*(1-PRCB-R2)/(1-R1-R2) MOR06360
20 R2=(R1+TETA1*R2)/(R1+R2) MOR06370
IF(R1.GT.1)R1=1 MOR06380
IF(R2.GT.1)R2=1 MOR06390
C CHOIX ALEATOIRE EXECUTE PAR CFCIS MOR06400
CALL DECIS(R1,R2,PRCB,KREF,ICHCIX) MOR06410
KREF=C MOR06420
IF(ICHCIX.NE.0)GOTO 20 MOR06430
C LA TRANSITION A EU LIEU - LE PROCESSUS A ETE ABSORBE MOR06440
XLAM(KEST)=1 MOR06450
PRCP=1 MOR06460
RETURN MOR06470
C LA TRANSITION N'A PAS EU LIEU - ON FERA UN NOUVEAU CHOIX ALEATOIRE MOR06480
C APRES LE TIRAGE DU POINT SUIVANT MOR06490
30 XLAM(KEST)=PRCP MOR06500
RETURN MOR06510
END MOR06520
MOR06530
MOR06540
MOR06550
MOR06560
MOR06570
MOR06580
SUBROUTINE PROVI(ACCU,VEC,P,J) MOR06590
C SOLS-ROUTINE DE TIRAGE EQUIPROBABLE DU NON D'UN ELEMENT D'UN MOR06600
C ENSEMBLE COMME DE NOMBRES ENTIERS MOR06610
C DIMENSION ACCU(1),VEC(1) MOR06620
COMMON/ETIQ1/IX,NO/ETIQ2/K1(6),MET,KCH,JFCN MOR06630
C LE TIRAGE POUR CHAQUE EST TOUJOURS NON-EQUIPROBABLE MOR06640
IF((JFCN.EC.0).AND.(MET.NE.3))GOTO 40 MOR06650
C TIRAGE NON-EQUIPROBABLE MOR06660
C VECTEUR D'ACCUMULATION MOR06670
ACCU(1)=VEC(1) MOR06680
DO 10 I=2,K MOR06690
10 ACCU(I)=ACCU(I-1)+VEC(I) MOR06700
C SI LA SOMME DE TOUTES LES COMPOSANTES EST NULLE LE TIRAGE EST MOR06710
C IMPOSSIBLE MOR06720
IF(ACCU(K).LT.0.001)GOTO 30 MOR06730
CALL RANDL(Y) MOR06740
SERI=Y*ACCU(I) MOR06750
C TIRAGE D'UN NOMBRE REEL ENTRE ZERO ET ACCU(N) MOR06760
C DETERMINATION DE L'ORDRE DE GRANDEUR DU NOMBRE TIRE PAR RAPPORT MOR06770
C AUX COMPOSANTES DU VECTEUR D'ACCUMULATION MOR06780
DO 20 I=1,K MOR06790
M=N*I-1 MOR06800
IF(ACCU(M).LE.SERI)RETURN MOR06810
C LA VALEUR ENTIERE TIREE EST L'INDEX DE LA COMPOSANTE DU VECTEUR MOR06820
C ACCU IMMEDIATEMENT SUPERIEURE /U NOMBRE REEL TIRE MOR06830
J=H MOR06840
20 CONTINUE MOR06850
RETURN MOR06860
30 J=0 MOR06870
RETURN MOR06880
C TIRAGE EQUIPROBABLE MOR06890
40 CALL RANDL(Y) MOR06900
J=Y*K+C.5000000 MOR06910
RETURN MOR06920
END MOR06930
MOR06940
MOR06950
MOR06960
MOR06970
MOR06980
SUBROUTINE CFCIS(IPR1,PR2,PE,I,K) MOR06990
C SOLS-ROUTINE DE CHOIX ALEATOIRE D'UN EVENEMENT PARMI DEUX MOR07000
C EVENEMENTS DONNES MOR07010
C LES DEUX EVENEMENTS SERONT AFFECTES D'UN PARI MI DEUX COUPLES MOR07020

```

```
C DE PROPRIETES DISPONIBLES MCR07020
COMMON/ETIC1/IX,AC MCR07030
K=0 MCR07040
FR=1*PR1+(1-1)*PR2 MCR07050
CALL RANDU(P) MCR07060
IF (R.LE.PR) RETURN MCR07070
K=1 MCR07080
RETURN MCR07090
END MCR07100
C MCR07110
C MCR07120
C MCR07130
C MCR07140
C MCR07150
SUBROUTINE INSPFC(POSIT/,NPAS/,MPV/,LIEU/,KBLOC/,K) MCR07160
SOLS-SUBROUTINE D'INSPECTION DE DIRECTIONS POUR LA METHODE DU CHEMIN MCR07170
ALEATOIRE MCR07180
DIMENSION POSIT(20),NPAS(20),MPV(10,7),KBLOC(10,20),KARD(10), MCR07190
LIEU(10) MCR07200
COMMON/ETIC2/L1(2),NBLOC,LR,N/ETIC5/KARC MCR07210
C BLOC DE FERMETURE DES DIRECTIONS QUI AMENERAIENT EN DEHORS DU MCR07220
C TREILLIS MCR07230
DO 50 I=1,N MCR07240
POSIT(I)=1 MCR07250
FCSIT(I+N)=1 MCR07260
NPAS(I)=1 MCR07270
NPAS(I+N)=1 MCR07280
DO 30 J=1,7 MCR07290
INSP=LIEU(I)+J-4 MCR07300
IF(INSP.GT.5)IF(INSP-KARC(I))GO TO 10 MCR07310
C LA MATRICE D'INSPECTION MPV A POUR COLONNE CENTRALE LE VECTEUR MCR07320
C POSITION DU DERNIER POINT TIRE MCR07330
C LES LIGNES CONTIENNENT LES INDICES DES HOMOLOGUES LES PLUS PROCHES MCR07340
C DE CEUX QUI CORRESPONDENT AU DERNIER POINT TIRE MCR07350
10 MPV(I,J)=0 MCR07360
GO TO 30 MCR07370
20 MPV(I,J)=INSP MCR07380
CONTINUE MCR07390
IF(MPV(I,4).NE.1)IF(MPV(I,4)-KARC(I))GO TO 40,50 MCR07400
POSIT(I)=0 MCR07410
GO TO 50 MCR07420
40 FCSIT(I+N)=0 MCR07430
50 CONTINUE MCR07440
C BLOC DE FERMETURE DES POSITIONS QUI AMENENT A UN BLOCAGE MCR07450
C ON FERME AU PLUS UNE POSITION POUR CHAQUE BLOCAGE EXISTANT MCR07460
IF(NBLOC.EC.0)GO TO 130 MCR07470
DO 70 J=1,NBLOC MCR07480
K1=0 MCR07490
K2=0 MCR07500
K3=0 MCR07510
DO 60 I=1,N MCR07520
IF(KBLOC(I,J).EC.0)GO TO 60 MCR07530
K1=KBLOC(I,J)-MPV(I,4) MCR07540
IF(K).EC.0)GO TO 60 MCR07550
K2=K2+1 MCR07560
K3=1 MCR07570
60 CONTINUE MCR07580
IF(K2.EC.0)MPV(K3,K1+4)=0 MCR07590
70 CONTINUE MCR07600
C VECTEUR DES LONGUEURS DE SALT POUR LES DIFFERENTES POSITIONS MCR07610
C SI UN SALT UNITAIRE SUR UNE DIRECTION CONDUIT A UN BLOCAGE ON FERME MCR07620
C UN SALT DE DEUX UNITES MCR07630
C LE PLS GRAND SALT ADMIS CORRESPOND A TROIS UNITES MCR07640
K1=0 MCR07650
K2=-1 MCR07660
85 DO 120 J=1,N MCR07670
K3=1 MCR07680
IF(POSIT(I+K1*N).EC.0)GO TO 120 MCR07690
90 IF(MPV(I,4)+K2*K3).EC.KARC(I))GO TO 100 MCR07700
K2=K2+1 MCR07710
IF(K2.GT.3)GO TO 100 MCR07720
IF((MPV(I,4)+K2*K3).EC.KARC(I))GO TO 100 MCR07730
IF((MPV(I,4)+K2*K3).GT.3)GO TO 90 MCR07740
100 POSIT(I+K1*N)=0 MCR07750
GO TO 120 MCR07760
110 NPAS(I+K1*N)=K3 MCR07770
```



```
WRITE(6,1010) MOR08560
READ(5,1020)CHCIX MOR08570
IF(CHCIX.NE.CUI)RETURN 1 MOR08580
LA REPETITION FUT ETRE FAITE EN PARTANT D'UNE PARI DEUX MOR08590
POSITIONS DISPONIBLES MOR08600
10 IF(CHCIX-K)50,20,30 MOR08610
20 RETURN 2 MOR08620
30 RETURN 3 MOR08630
40 IF(NC.CT.0)GOTO 50 MOR08640
NC=1 MOR08650
IF(KONSCL.NE.C)WRITE(6,1040) MOR08660
LECTURE DU NOMBRE D'ITERATIONS VOULU (EN AUTOMATIQUE) MOR08670
READ(5,1030)KA MOR08680
C COMPTAGE DES ITERATIONS FAITES MOR08690
50 NA=NA+1 MOR08700
IF(NA.NE.KA)GOTO 10 MOR08710
RETURN 1 MOR08720
1010 FORMAT(IX,'REPTION POUR REPETITION') MOR08730
1020 FORMAT(A4) MOR08740
1030 FORMAT(IE) MOR08750
1040 FORMAT(IX,'NOMBRE DE CYCLES VOULU') MOR08760
END MOR08770
C MOR08780
C MOR08790
C MOR08800
C MOR08810
C MOR08820
SUBROUTINE ECRIT(J,I,L) MOR08830
C SCL-SROUTINE DE MESSAGES ET IMPRESSION DE COORDONNEES MOR08840
DIMENSION L(I) MOR08850
K=J+1 MOR08860
GOTO(10,20,30,40,50,60,70,80,90,100),K MOR08870
10 WRITE(6,1010) MOR08880
RETURN MOR08890
20 WRITE(6,1020) MOR08900
RETURN MOR08910
30 WRITE(6,1030)(L(I),I=1,N) MOR08920
RETURN MOR08930
40 WRITE(6,1040) MOR08940
RETURN MOR08950
50 WRITE(6,1050) MOR08960
RETURN MOR08970
60 WRITE(6,1060) MOR08980
RETURN MOR08990
70 WRITE(6,1070) MOR09000
RETURN MOR09010
80 WRITE(6,1080) MOR09020
RETURN MOR09030
90 WRITE(6,1090) MOR09040
RETURN MOR09050
100 WRITE(6,1100) MOR09060
RETURN MOR09070
1010 FORMAT(IX,'REPONSE CORRECTE') MOR09080
1020 FORMAT(IX,'REPONSE INCORRECTE') MOR09090
1030 FORMAT(IX,1X,I2,4X1) MOR09100
1040 FORMAT(IX,'STIMULUS CHANGE') MOR09110
1050 FORMAT(IX,'SEQUENCE IMPOSSIBLE') MOR09120
1060 FORMAT(IX,'STIMULUS ABANDONNE') MOR09130
1070 FORMAT(IX,'CHOIX DE STIMULUS') MOR09140
1080 FORMAT(IX,'PARAMETRES DU MODELE') MOR09150
1090 FORMAT(IX,'POSITION INTERDITE') MOR09160
1100 FORMAT(IX,'NIVEAU DEPART') MOR09170
END MOR09180
C MOR09190
C MOR09200
C MOR09210
C MOR09220
C MOR09230
SUBROUTINE ALTP19 MOR09240
C SCL-SROUTINE DE CHANGEMENT DE PARAMETRES MOR09250
C SEULS SONT ATTEINTS LES PARAMETRES DU DEUXIEME COMPO MOR09260
COMMON/ETIC2/IMP(17),XREAL(3)/ETIC3/K(11),M(1),K(1),KONSCL MOR09270
IF(KONSCL.NE.0)WRITE(6,1010) MOR09280
LECTURE DU NOMBRE D'ORDRE ET DE LA NOUVELLE VALEUR MOR09290
C LA LECTURE EST FAITE EN REEL POUR FACILITER L'ECRIURE MOR09300
C DES DONNEES EN CONVERSATIONNEL MOR09310
C READ(5,1020)ORD,VALEUR MOR09320
```



```

FILE: MORAUT FORTRAN PI CAMBRIDGE MONITOR SYSTEM
SUBROUTINE APDEL(/KSTIML/,/LIEU/,*)
C SOLS-FOLITINE DE JUDGMENT DES SOLUTIONS TIREES
INTEGER STIM(1)
DIMENSION XCCCR(10),YCCCR(10),M444(36),RAYCN(4),KSTIML(10,50),
1 XMR(12,10),VDIST(12),PCND(10,12),IALX(10),KARD(10),LIEU(10)
COMMON/E1/Q2/KL,NEST,M1,NSIACK,A,L,KP(3),MINST/E1/G3/PCND/E1/G5/
1KARD,Y2,CLI,KEST,KPEF/E1/G7/STIM,M444,RAYCN,XCLCR,YCCCR,XMR,VDIST
2,NRC,NRC1,NRC2,NRC3
MARC=0
IF(NEST.LT.MINST)MARC=1
C COMPTEURS DES POINTS DES ZONES
IF(NSIACK.GT.1)GOTO 20
N1=0
N2=0
N3=0
C COMPTEURS DES ETATS DE REPONSE CORRECTE DANS LES ZONES
NRC=0
NRC1=0
NRC2=0
NRC3=0
C CALCUL DES RAYONS DES ZONES
SCM=0
DO 10 I=1,N
10 SCM=SCM+SCM1(XCCCR(I)**2+YCCCR(I)**2)
RAYCN(4)=SCM/M
RAYCN(3)=RAYCN(4)/2.
RAYCN(2)=RAYCN(4)/4.
RAYCN(1)=RAYCN(4)/8.
WRITE(6,950)RAYCN
20 JREP=KREP
IF(NEST.LT.MINST)JREP=1-KREP
MREP=1-JREP
NRC=NRC+MREP
CALL SFSEL(DIST,LIEU)
C CALCUL DE LA DISTANCE CORRESPONDANTE A LA SOLUTION TIREE
VDIST(KL)=DIST
C DEBUT DES TESTS DE CLASSIFICATION
IF(DIST.GT.RAYCN(1))GOTO 105
NRC1=NRC+MREP
N1=N1+1
C PENSATION FAITE SI LE POINT APPARTIEN A LA ZONE 1
DO 110 I=1,N
KR=LIEU(I)
110 PCND(I,KR)=FENE(I,KR)+1.-DIST/RAYCN(1)
GOTO 120
105 IF(DIST.GT.RAYCN(2))GOTO 115
N2=N2+1
NRC2=NRC+MREP
GOTO 120
115 N2=N2+1
NRC3=NRC+MREP
C FIN DES TESTS POUR LA SOLUTION
C DEBUT DU TRAVAIL AVEC LES SOLS-ASSEMBLAGES
DO 120 I=1,N
120 IALX(I)=1
130 STIM(I)=1
C BRANCHEMENT POUR LES REPONSES INCORRECTES
IF(JREP.NE.0)GOTO 135
KST=0
DO 138 I=1,N
STIM(I)=KSTIML(I,KEST)
IF(STIM(I).NE.0)KST=KST+1
138 CONTINUE
IF(KST.EQ.(N-2))GOTO 200
C SI LE STIMULUS A DEJA N-2 COMPOSANTES (4 DANS LE CAS PRESENT)

```

```
C      AUCUNE COMBINAISON N'EST ESSAYEE                                APD00660
      GOTO 165
C      BRANCHEMENT POUR LES REPONSES INCORRECTES ET POUR LA METHODE APD00680
      NON-ADAPTATIVE
      APD00690
C      TIRAGE D'UN 2-SCUS-ASSEMBLAGE
      APD00700
135 CALL RANDU(Y)
      APD00710
      KR=Y*N+C.999999
      APD00720
      STIM(KR)=LIEU(KR)
      APD00730
140 CALL RANDU(Y)
      APD00740
      KS=Y*N+C.999999
      APD00750
      IF(KS.EC.99)GOTO 140
      APD00760
      STIM(KS)=LIEU(KS)
      APD00770
      KST=2
      APD00780
C      CALCUL DE LA DISTANCE
      APD00790
      CALL GRSOL(DIST,STIM)
      APD00800
      IF(DIST.GT.RAYON(2))GOTO 165
      APD00810
      IREP=1
      APD00820
      IF(NEST.L7.50)GOTO 145
      APD00830
      WRITE(6,1070)
      APD00840
      JR=0
      APD00850
      GOTO 148
      APD00860
145 JR=1
      APD00870
C      STOCKAGE DU 2-SCUS-ASSEMBLAGE COMME STIMULUS SI SA DISTANCE EST APD00880
      ACCEPTABLE
      APD00890
148 CALL IDSASS(2,KSTIML,50,IREP,NEST,JR,STIM)
      APD00900
      IF(IREP.NE.0)GOTO 150
      APD00910
      WRITE(6,1000)
      APD00920
      WRITE(6,1010)NEST,DIST,(STIM(I),I=1,N)
      APD00930
150 DO 160 I=1,N
      APD00940
      IF(STIM(I).EQ.0)GOTO 160
      APD00950
      KR=STIM(I)
      APD00960
      FCN(I,KR)=FCN(I,KR)+1.-DIST/RAYON(2)
      APD00970
160 CONTINUE
      APD00980
C      COMBINAISON DU SCUS-ASSEMBLAGE AVEC LES AUTRES HOMOLOGUES DE APD00990
      LA SOLUTION, UN A LA FOIS
      APD01000
165 CALL COMBI(MFC,IAUX,LIEU,DIST,KST,LST)
      APD01010
C      VERIFICATION DES RESULTATS OBTENUS
      APD01020
      CALL GRSOL(DIST,STIM)
      APD01030
C      LE BLOC QUI SUIT EST SEMBLABLE AU PREMIER BLOC DE TESTS
      APD01040
      IF(DIST.GT.RAYON(1))GOTO 190
      APD01050
      IREP=1
      APD01060
      IF(NEST.L7.50)GOTO 168
      APD01070
      WRITE(6,1070)
      APD01080
      JR=0
      APD01090
      GOTO 165
      APD01100
168 JR=1
      APD01110
169 CALL IDSASS(2,KSTIML,50,IREP,NEST,JR,STIM)
      APD01120
      IF(IREP.NE.0)GOTO 170
      APD01130
      WRITE(6,1000)
      APD01140
      WRITE(6,1010)NEST,DIST,(STIM(I),I=1,N)
      APD01150
170 DO 180 I=1,N
      APD01160
      IF(STIM(I).EQ.0)GOTO 180
      APD01170
      KR=STIM(I)
      APD01180
      FCN(I,KR)=FCN(I,KR)+1.-DIST/RAYON(1)
      APD01190
180 CONTINUE
      APD01200
190 STIM(LST)=0
      APD01210
C      TEST POUR LA FIN DES COMBINAISONS
      APD01220
      IF((MFC.NE.1).OR.(IAUX(N).NE.1))GOTO 165
      APD01230
200 IF(KL.EC.1)GOTO 205
      APD01240
      IF(MFC.EC.1)RETURN 1
      APD01250
      RETURN
      APD01260
205 I=1
      APD01270
      WRITE(6,1030)I,N71
      APD01280
      I=2
      APD01290
      WRITE(6,1030)I,N72
      APD01300
      I=3
      APD01310
      WRITE(6,1030)I,N73
      APD01320
      WRITE(6,1040)INSTOCK
      APD01330
      SCN=0
      APD01340
      DO 208 I=1,L
      APD01350
208 SCN=SCN+VCI ST(I)
      APD01360
      SCN=SCN/L
      APD01370
      WRITE(6,1045)ST*
      APD01380
      WRITE(6,1050)
      APD01390
      WRITE(6,170)
      APD01400
      WRITE(6,180)
      APD01410
      WRITE(6,195)NRC,NRC1,NRC2,NRC3
      APD01420
```



```

SUBROUTINE GRSOL (DIST, /LIEU/)
C SOLS-ROUTINE POUR LE CALCUL DE LA DISTANCE A L'ORIGINE DU
C CENTRE DE GRAVITE D'UNE SOLUTION OU D'UN SOLS-ASSEMBLAGE
DIMENSION L4(36), XCOORD(10), YCOORD(10), XMOR(12,10), LIEU(10)
COMMON/ETIQ2/LI(4), N/ETIQ7/L2(10), L4, L3(4), YCCOR, YCCCR, XMOR
XNLN=0
YNLN=0
DEN=0
DO 10 I=1, N
IF (LIEU(I).EQ.0) GO TO 10
KR=LIEU(I)
XR=XMOR(KR, I)
XNLN=XNLN+XCCCF(I)*XR
YNLN=YNLN+YCCOR(I)*XR
DEN=DEN+XR
10 CONTINUE
DIST=SQRT(XNLN**2+YNLN**2)/DEN
RETURN
END
AP02000
AP02010
AP02020
AP02030
AP02040
AP02050
AP02060
AP02070
AP02080
AP02090
AP02100
AP02110
AP02120
AP02130
AP02140
AP02150
AP02160
AP02170
AP02180

```

```

SUBROUTINE ELSTIM(NRC, NPL, /KSTIML/)
DIMENSION KSTIML(10,50), K4(11), P(120), XLAM(50)
COMMON/ETIQ2/K1, NEST, K2(2), N, L, K3(3), MIAST/ETIQ3/P, XLAM/ETIQ5/
1K4, CUI, KEST
C TEST CONTENANT LES CONDITIONS DE NON-ELIMINATION
IF ((NRC.LT.(1/2)).OR.(NRC1.NE.0).OR.(NEST.LE.MIAST)) RETURN
WRITE(6,1000) KEST, (KSTIML(I, KEST), I=1, N)
NEST=NEST-1
DO 10 J=KEST, NEST
XLAM(J)=XLAM(J+1)
DO 10 I=1, N
10 KSTIML(I, J)=KSTIML(I, J+1)
1000 FORMAT(IX, 'STIMLUS ELIMINE ', I2, 10X, 10I3)
RETURN
END
AP02190
AP02200
AP02210
AP02220
AP02230
AP02240
AP02250
AP02260
AP02270
AP02280
AP02290
AP02300
AP02310
AP02320
AP02330

```

```

FILE: ENUMER FORTRAN P1 CAMBRIDGE MONITOR SYSTEM
C PROGRAMME POUR L'EXECUTION DE LA METHODE D'ENUMERATION ENU00010
C SIMPLE D'UN ENSEMBLE PRODUIT MORPHOLOGIQUE DU CUIVE DE ENU00020
C SES PROJECTIONS ENU00030
C LE PROGRAMME ICI PRESENTE NE SERT QU'ALX MORPHOLOGIES CONTENANT ENU00040
C SIX FORMATEURS ENU00050
C POUR UN NOMBRE DONNE DE FORMATEURS UN PROGRAMME CORRESPONDANT ENU00060
C DOIT ETRE UTILISE POUR OBTENIR LE MAXIMUM DE VITESSE (ABSENCE ENU00070
C DE TESTS POUR LE NOMBRE DE FORMATEURS, ETC) ENU00080
C DIMENSION XMCR(12,2),STXN(6),STYN(6),STDN(6),L(6),YCCOR(6), ENU00090
1 YCCOR(6),LX(6),LY(6) ENU00100
FDIST(X,Y,Z)=SQRT(X**2+Y**2)/Z ENU00110
SCN=0 ENU00120
DO 10 I=1,6 ENU00130
10 SCN=SCN+(DIST(XCCOR(I),YCCOR(I),L(I) ENU00140
RZ=SCN/6. ENU00150
RZ2=RZ/4. ENU00160
RZ1=RZ/8. ENU00170
C LE VECTEUR LX SERT A DEFINIR LA PROJECTION VOULUE. S'IL ENU00180
C S'AGIT D'UN VECTEUR NUL LE PROGRAMME PRENDRA L'ENSEMBLE ENU00190
C PRODUIT TOUT ENTIER ENU00200
15 REAC(5,102) LX ENU00210
IF(LX(1).GT.12)STOP ENU00220
XNUM=0 ENU00230
YNUM=0 ENU00240
DEN=0 ENU00250
NZC=0 ENU00260
NZ1=0 ENU00270
NZ2=0 ENU00280
NZ3=0 ENU00290
DO 100 JA=1,KA ENU00300
L(1)=JA ENU00310
IF(LX(1).NE.0) L(1)=LX(1) ENU00320
XR=XMCR(L(1),1) ENU00330
C LES VECTEURS STXN,STYN ET STDN SONT UTILISES POUR LE STOCKAGE ENU00340
C DES DERNIERES VALEURS OBTENUES QUI SERONT REPRIS LORS DE ENU00350
C LA FIN DU PASSAGE DANS LA BOUCLE ENU00360
STXN(1)=XNUM ENU00370
STYN(1)=YNUM ENU00380
STDN(1)=DEN ENU00390
XNUM=XNUM+XCCOR(1)*XR ENU00400
YNUM=YNUM+YCCOR(1)*XR ENU00410
DEN=DEN+XR ENU00420
DO 90 JB=1,KB ENU00430
L(2)=JB ENU00440
IF(LX(2).NE.0) L(2)=LX(2) ENU00450
XR=XMCR(L(2),2) ENU00460
STXN(2)=XNUM ENU00470
STYN(2)=YNUM ENU00480
STDN(2)=DEN ENU00490
XNUM=XNUM+XCCOR(2)*XR ENU00500
YNUM=YNUM+YCCOR(2)*XR ENU00510
DEN=DEN+XR ENU00520
DO 80 JC=1,KC ENU00530
L(3)=JC ENU00540
IF(LX(3).NE.0) L(3)=LX(3) ENU00550
XR=XMCR(L(3),3) ENU00560
STXN(3)=XNUM ENU00570
STYN(3)=YNUM ENU00580
STDN(3)=DEN ENU00590
XNUM=XNUM+XCCOR(3)*XR ENU00600
YNUM=YNUM+YCCOR(3)*XR ENU00610
DEN=DEN+XR ENU00620
DO 70 J0=1,K0 ENU00630
L(4)=J0 ENU00640
IF(LX(4).NE.0) L(4)=LX(4) ENU00650
XR=XMCR(L(4),4) ENU00660
STXN(4)=XNUM ENU00670
STYN(4)=YNUM ENU00680
STDN(4)=DEN ENU00690
XNUM=XNUM+XCCOR(4)*XR ENU00700
YNUM=YNUM+YCCOR(4)*XR ENU00710
DEN=DEN+XR ENU00720
DO 60 JE=1,KE ENU00730
L(5)=JE ENU00740
IF(LX(5).NE.0) L(5)=LX(5) ENU00750

```

```

XR=XMCR(L(5),5)
STXN(5)=XNUM
STYN(5)=YNUM
STDN(5)=DEN
XNUM=XNUM+XCOR(5)*XR
YNUM=YNUM+YCOR(5)*XR
DEN=DEN+XR
DO 50 JF=1,KF
L(6)=JF
IF(LX(6),JF,0)L(6)=LX(6)
XR=XMCR(L(6),6)
STXN(6)=XNUM
STYN(6)=YNUM
STDN(6)=DEN
XNUM=XNUM+XCOR(6)*XR
YNUM=YNUM+YCOR(6)*XR
DEN=DEN+XR
C. ICI DEBUT DU RECAL DU PROGRAMME OU SONT EFFECTUES LES CALCULS
C. DESIRES PAR L'UTILISATEUR
DIST=FDIST(XNUM,YNUM,DEN)
IF(DIST.LE.0.)N2C=N2C+1
28 IF(DIST.GT.RZ1)GOTO 30
N21=N21+1
GOTO 40
30 IF(DIST.GT.RZ2)GOTO 32
N22=N22+1
GOTO 40
32 N23=N23+1
40 IF(LX(6))55,45,55
45 XNUM=STXN(6)
YNUM=STYN(6)
50 DEN=STDN(6)
55 IF(LX(5))65,57,65
57 XNUM=STXN(5)
YNUM=STYN(5)
60 DEN=STDN(5)
65 IF(LX(4))75,67,75
67 XNUM=STXN(4)
YNUM=STYN(4)
70 DEN=STDN(4)
75 IF(LX(3))85,77,85
77 XNUM=STXN(3)
YNUM=STYN(3)
80 DEN=STDN(3)
85 IF(LX(2))95,87,95
87 XNUM=STXN(2)
YNUM=STYN(2)
90 DEN=STDN(2)
95 IF(LX(1))105,97,105
97 XNUM=STXN(1)
YNUM=STYN(1)
100 DEN=STDN(1)
105 WRITE(6,100) LX
KPRCD=1
DO 120 I=1,6
IF(LX(I),EQ,0)KPRCD=KPRCD*(LY(I))
120 CONTINUE
PRDEN=FLCAT(KPRCD)
PRZ0=(100.*FLCAT(N21))/PRDEN
PRZ1=(100.*FLCAT(N22))/PRDEN
PRZ2=(100.*FLCAT(N23))/PRDEN
PRZ3=(100.*FLCAT(N23))/PRDEN
WRITE(6,1010)KPRCD
I=C
WRITE(6,1020)I,N20,PRZ0
I=1
WRITE(6,1020)I,N21,PRZ1
I=2
WRITE(6,1020)I,N22,PRZ2
I=2
WRITE(6,1020)I,N23,PRZ3
GOTO 15
1000 FORMAT(1X,'SOLS-ENSEMBLE DEFINI PAR ',61F)
1010 FORMAT(1X,'NOMBRE D'ELEMENTS ',I6/)
1020 FORMAT(25X,'ZONE',1X,11,10X,16,2X,'SOLUTIONS ',F3.3,' % DU TOTAL')
1030 FORMAT(613)
DATA KA,KB,KC,KD,KE,KF/8,6,6,10,9,10/
DATA LY/E,6,6,10,9,10/

```

```

ENU00761
ENU00770
ENU00780
ENU00790
ENU00800
ENU00810
ENU00820
ENU00830
ENU00840
ENU00850
ENU00860
ENU00870
ENU00880
ENU00890
ENU00900
ENU00910
ENU00920
ENU00930
ENU00940
ENU00950
ENU00960
ENU00970
ENU00980
ENU00990
ENU01000
ENU01010
ENU01020
ENU01030
ENU01040
ENU01050
ENU01060
ENU01070
ENU01080
ENU01090
ENU01100
ENU01110
ENU01120
ENU01130
ENU01140
ENU01150
ENU01160
ENU01170
ENU01180
ENU01190
ENU01200
ENU01210
ENU01220
ENU01230
ENU01240
ENU01250
ENU01260
ENU01270
ENU01280
ENU01290
ENU01300
ENU01310
ENU01320
ENU01330
ENU01340
ENU01350
ENU01360
ENU01370
ENU01380
ENU01390
ENU01400
ENU01410
ENU01420
ENU01430
ENU01440
ENU01450
ENU01460
ENU01470
ENU01480
ENU01490
ENU01500
ENU01510
ENU01520
ENU01530

```

```
DATA XNDR/10.,12.,14.,16.,18.,20.,22.,24.,4*0.,13.,15.,17.,19.,21. ENU01540
1,23.,6*0.,9.,9.,10.,11.,12.,13.,6*0.,9.,10.,12.,14.,17.,20.,23., ENU01550
2 24.,25.,22.,2*0.,6.,10.,14.,10.,23.,26.,30.,24.,30.,3*0.,5.,8., ENU01560
3 11.,13.,15.,17.,19.,22.,26.,30.,2*0.,48*0./ ENU01570
DATA XCORR/1.,5.,4.,1.,-3.,-2./ ENU01580
DATA YCORR/5.,2.,1.,-2.,-2.,2./ ENU01590
END ENU01600
```

MORPHO 14 36 TS-BRI 22/05/20

A VOS ORDRES
? ALDAP
INDEX ET VALEUR? 4,5
ENCORE? NON

A VOS ORDRES
? ERALON
ENREGISTREMENT DES BLOCAGES
? 5,0,0,7,0,0,0,0,0
ENCORE? NON
A VOS ORDRES

STIMULUS TYPE 2
3 0 0 0 1 1

PARAMETRES
GAMMA .133 OMEGA .500 TETA0 .082 TETA1 .534

REPONSE CORRECTE
4 2 3 6 2

REPONSE CORRECTE
3 2 3 6 2

REPONSE INCORRECTE
3 2 3 5 2

REPONSE INCORRECTE
3 2 2 5 2

REPONSE CORRECTE
3 2 2 5 1

CHOIX DE STIMULUS? NON

MILIEU	EAU	CHAMPS MAGN.	CHAMPS MAGN.	CHAMPS MAGN.
MODE	TRANSVERSAL	TRANSVERSAL	TRANSVERSAL	TRANSVERSAL
FORME	SPHERIQUE	SPHERIQUE	SPHERIQUE	PLANE
LONGUEUR ONDE	RAYON X	RAYON X	ULTRAVIOLET	ULTRAVIOLET
OBSTACLE	REFLEX. PARTIE	REFLEX. PARTIE	REFLEX. PARTIE	REFLEX. PARTIE

MILIEU	CHAMPS MAGN.
MODE	TRANSVERSAL
FORME	PLANE
LONGUEUR ONDE	ULTRAVIOLET
OBSTACLE	REFLEX. TOTALE

A VOS ORDRES
? ELSTIM
STIMULUS A ELIMINER? 2
ENCORE? NON
A VOS ORDRES
? ELALON
BLOCAGE A ELIMINER? 1
ENCORE? NON
A VOS ORDRES

load morpho (xeq)
 EXECUTION BEGINS...
 S'AGIT-IL D'UNE CONTINUATION?
 non

MORPHOLOGIE ORIGINALE

MILIEU	AIR	CHAMPS ELETR.	CHAMPS MAGN.	EAU	CORDE	RESSORT
MODE	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL				
FORME	LINEAIRE	PLANE	SPHERIQUE			
LONGUEUR ONDE	SONORE	RADIO	INFRAROUGE	VISIBLE	ULTRAVIOLET	RAYON X
OBSTACLE	GAMMA	REFLEX.PARTIELLE	ABSORPTION	DIFFRACTION	PAS D'EFFET	
	REFLEX.TOTALE					

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES
 display

PARAMETRES DU PROBLEME

PARAMETRE	ORDRE	VALEUR
COMPTEUR DES STIMULI	2	0
COMPTEUR DES BLOCAGES	3	0
COMPTEUR DES SOLUTIONS	4	0
NOMBRE DE FORMATEURS	5	5
NOMBRE DE SOLUTIONS PAR SORTIE	6	4
INDICATEUR DE LA METHODE CHOISIE(1)	7	1
INDICATEUR DE SELECTION DE STIMULUS(2)	8	1
INDICATEUR DE PONDERATION	9	0
NOMBRE DE STIMULI EXIGE PAR LE MODELE	10	3
INDICATEUR DE TEST D'ORIGINALITE(3)	11	1
NOMBRE DE SOLS. PAR LIGNE D'IMPRESSION	12	5
VAR. DE DECALAGE DES NOMBRES ALEATOIRES	13	937
INDICATEUR D'AUTOMATISATION(3)	14	0
INDICATEUR D'IMPRESSION COORDONNEES(3)	15	1
INDICATEUR D'IMPRESSION MESS.AUXIL(3)	16	1
VAR. CONTROLE DEBUT CHALET	17	0
NOMBRE DE SORTIES VOULUES AVANT LE COND.	18	2.000
PROB. NON COND. APRES SORTIES VOULUES	19	0.100
PROP. REPONSES INCORR./CORR. AVANT COND.	20	3.000
PROP. REPONSES INCORR.A ORR. APRES COND.	21	2.000

VALEURS DES CARDINAUX 6 2 3 7 5

- (1) RANDL AVEC UN STIMULUS PAR SOLUTION----- 1
 RANDL AVEC UN STIMULUS PAR SORTIE----- 2
 CHALET (UN STIMULUS PAR SORTIE)----- 3
- (2) STIMULUS TIRE AU HASARD---- 1
 STIMULUS CHOISI----- 2
- (3) ZERO----INEFFECTIF
 UN-----EFFECTIF

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES

chalet

6	2	3	7	5
5	2	3	7	5
4	2	3	7	5
4	2	3	6	5

MILIEU	** RESSORT	CORDE	EAU	EAU
MODE	** TRANSVERSAL	TRANSVERSAL	TRANSVERSAL	TRANSVERSAL
FORME	** SPHERIQUE	SPHERIQUE	SPHERIQUE	SPHERIQUE
LONGUEUR ONDE	** GAMMA	GAMMA	GAMMA	RAYON X
OBSTACLE	** PAS D'EFFET	PAS D'EFFET	PAS D'EFFET	PAS D'EFFET

OPTION POUR REPETITION
non

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES
regstim

ENREGISTREMENT DE STIMULI

3 0 0 5 0
STIMULUS NO. 1 3 0 0 5 0

OPTION POUR REPETITION
oui

4 0 2 2 0
STIMULUS NO. 2 4 0 2 2 0

OPTION POUR REPETITION
oui

0 0 0 7 4
STIMULUS NO. 3 0 0 0 7 4

OPTION POUR REPETITION
non

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES
altbar

CHANGEMENT DE PARAMETRES
INDEX ET VALEUR

(20.) (1.)

PARAMETRE CHANGE 20 VALEUR 1.000
OPTION POUR REPETITION

oui
INDEX ET VALEUR

(21.) (0.9)

PARAMETRE CHANGE 21 VALEUR 0.900
OPTION POUR REPETITION

non

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES
rand1 2

CHOIX DE STIMULUS
non

STIMULUS TIRE 1

PARAMETRES DU MODELE

GAMMA 0.488 OMEGA 0.515 TETAZ 0.244 TETA1 0.256

REPONSE INCORRECTE

5 2 1 4 2

PROBABILITE DE CONDITIONNEMENT 0.244

REPONSE CORRECTE

3 2 3 5 1

PROBABILITE DE CONDITIONNEMENT 0.445

REPONSE INCORRECTE

2 1 2 6 4

PROBABILITE DE CONDITIONNEMENT 1.000

REPONSE INCORRECTE

2 2 1 5 1

MILIEU	** CORDE	CHAMPS MAGN.	CHAMPS ELETR.	CHAMPS ELETR.
MODE	** TRANSVERSAL	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL
FORME	** LINEAIRE	SPHERIQUE	PLANE	LINEAIRE
LONGUEUR ONDE	** VISIBLE	ULTRAVIOLET	RAYON X	ULTRAVIOLET
OBSTACLE	** REFLEX.PARTIELLE	REFLEX.TOTALE	DIFFRACTION	REFLEX.TOTALE

OPTION POUR REPETITION
non

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES

chalet 1

CHOIX DE POINT DE DEPART

1 1 2 5 2

CHOIX DE STIMULUS

ou!

STIMULUS A UTILISER ?

3

STIMULUS CHOISI 3

PARAMETRES DU MODELE

GAMMA 0.375 OMEGA 0.515 TETAZ 0.200 TETAL 0.333

REPONSE INCORRECTE

PROBABILITE DE CONDITIONNEMENT 1.000

2 1 2 5 2

REPONSE INCORRECTE

2 1 1 5 2

REPONSE INCORRECTE

3 1 1 5 2

REPONSE INCORRECTE

3 2 1 5 2

MILIEU

** AIR

CHAMPS ELETR.

CHAMPS ELETR.

CHAMPS MAGN.

CHAMPS MAGN.

MODE

** LONGITUDINAL

LONGITUDINAL

LONGITUDINAL

LONGITUDINAL

TRANSVERSAL

FORME

** PLANE

PLANE

LINEAIRE

LINEAIRE

LINEAIRE

LONGUEUR ONDE

** ULTRAVIOLET

ULTRAVIOLET

ULTRAVIOLET

ULTRAVIOLET

ULTRAVIOLET

OBSTACLE

** REFLEX.PARTIELLE REFLEX.PARTIELLE REFLEX.PARTIELLE REFLEX.PARTIELLE REFLEX.PARTIELLE

OPTION POUR REPETITION

non

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES

elstim 1

STIMULUS ELIMINE 3 0 0 5 0

LE MODELE CESSE D'INTERVENIR

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES

display 3 2

PARAMETRES DU PROBLEME

PARAMETRE	ORDRE	VALEUR
COMPTEUR DES STIMULI	2	2
COMPTEUR DES BLOCAGES	3	0
COMPTEUR DES SOLUTIONS	4	13

SELECTION DES FONCTIONS DISPONIBLES

stop

STOCKAGE EFFECTUE

IHC0021 STOP 0

R; T=1.71/13.52 08.59.11

APPENDICE V

TABLE DE NOMBRES ALEATOIRES DE MODULES 2 A 12

Cette table est destinée à faciliter le tirage des points dans certaines méthodes aléatoires, si on ne dispose pas d'un ordinateur.

Elle est particulièrement convenable pour la randomisation libre car elle permet le tirage direct d'un homologue appartenant à un formateur quelconque ; pour cela il suffit d'utiliser la colonne correspondante au nombre d'éléments de ce formateur.

Dans les trois dernières colonnes on trouve les lettres A, B et C, qui remplacent les nombres 10, 11 et 12 respectivement.

De même que pour une table quelconque de nombres aléatoires, il faut définir préalablement une règle pour effectuer le choix.

12211	11221	22223	23211	32212	13222	51321	32334	11466	24223	22713	62256
12111	22112	22212	31132	13414	32432	15241	55555	55516	35153	22625	16762
11122	22111	22223	11321	22244	11422	14111	25322	42165	66651	32754	77761
12222	21122	12213	31133	42221	42231	14231	53414	62235	13366	46781	27173
22112	22212	11212	22121	22243	42341	41524	33145	13636	13126	64216	13764
12211	21211	22123	23111	42223	24233	41544	24422	61321	13126	62563	27161
21212	12212	11221	31112	44112	43231	42323	53331	13562	34642	73312	77153
23221	22122	11212	22311	22333	32243	45345	12445	13265	65211	52336	76656
21111	11111	13123	23133	22134	21222	44314	43334	34516	43226	67426	53314
11111	21122	12211	21233	21312	32343	31553	34533	22431	43452	66213	27654
11121	11122	22221	22123	22111	13334	13234	24332	22562	66154	63216	55711
21122	12121	21123	21212	44432	31234	44424	21143	16145	63111	41316	51637
22122	21222	11231	11211	24441	42414	52343	24441	11236	24636	27237	25511
11212	11111	21221	12321	22312	22312	43255	33351	22514	45551	22775	52174
21212	11211	12222	21323	24222	14441	25324	35221	26411	14353	76145	44375
21121	22112	21222	21322	24323	22113	22233	13233	22541	14521	74147	26114
22112	11122	11231	11232	41421	43114	35553	15145	41153	42526	51736	77237
11222	22112	21331	22333	34234	14121	55242	14225	26625	22452	15714	76463
22221	11111	22221	13311	24144	11224	43355	42231	62525	26246	26256	72744
21121	21212	12232	21211	42323	14134	54342	35334	64554	14544	41464	73462
12212	12121	21132	11211	22411	32241	35331	41425	66211	12562	57525	51325
22111	22122	21311	32221	24122	24422	52322	24522	12632	23514	63264	25412
21112	11111	21131	12112	41421	21231	21541	42151	51425	15646	45557	21216
22212	11111	22221	11121	22214	41443	51525	43515	21441	53412	63135	64433
12122	11111	21223	22122	22431	22342	35213	24142	34115	64212	76226	43325
22111	22222	31121	21221	23311	43144	35544	51242	62121	54566	55344	22255
11212	22121	22222	13221	23434	12123	22244	45441	31225	14234	11652	71641
22112	21211	22133	22111	14421	43233	52454	14154	21554	24262	44227	14222
21221	22121	22233	22222	21213	14223	25335	41245	32431	64434	24144	56753
21212	22212	12223	11122	12211	21324	14334	42115	64664	43461	71311	22775
21121	12222	21511	31323	22441	11243	31225	55231	16663	61366	42465	23515
11211	11111	22122	11311	22133	24234	12524	11351	44663	11666	43427	12647
22212	22111	12122	22313	34433	34414	24324	54225	66426	54541	73646	64552
12121	21121	21121	21221	22241	34141	15343	42123	45231	24361	52527	66262
11121	12111	12233	12232	33331	23223	53445	14232	56263	25125	67651	62562
12122	11121	22232	12223	34443	44114	31322	43222	44565	62216	25751	65171
11111	11112	22231	13231	21213	44113	52525	12314	54522	12245	65564	53742
12222	22222	12212	21123	24241	43443	54541	52314	65512	55434	41673	23746
11222	22111	22311	33122	21424	33412	35314	42551	63466	41134	54643	17775
22212	21112	11212	12121	23343	13114	23324	23133	54246	13236	16523	31634
12221	21221	22131	12233	11212	22322	41342	43411	33546	61562	14435	42234
22221	11221	11321	22231	23342	32232	31124	31354	13641	15323	14255	73636
12111	21112	22233	13331	22213	31333	31533	35243	15436	15441	51424	26146
12122	11221	11121	22222	22132	34222	51122	52231	43311	26124	11727	76253
21112	12221	22122	21133	34341	21121	14154	32211	22552	25661	57237	14114
12111	21222	11321	21311	24111	23341	52213	35113	44631	13655	46675	65572
11222	12211	22212	22221	14313	21423	21241	21524	26234	23542	23177	15134
22112	11222	12121	21221	43444	32212	41554	43534	63353	41215	53363	25213
12222	12121	22222	11212	13434	12241	43422	21342	43536	42133	74764	77457
22221	11111	12222	21333	22131	42424	52225	44155	52254	32265	13471	11254
21211	21112	12111	13323	12142	34441	34131	25154	56235	31466	67225	75231
12212	21112	12221	23321	42432	42131	41435	55233	35516	32642	61715	12577
12121	12111	22212	22223	42123	41232	12415	53223	16261	63645	31516	65215
11122	21112	22212	21321	42211	13421	15112	45551	66216	36324	41735	46372
12111	11112	22212	21131	12214	21424	55532	12341	13434	66556	43377	42525
22121	12112	22312	31212	21141	23142	55244	34243	36131	33266	67474	77213
12221	12121	21213	31122	13423	12334	51345	25422	66663	33216	65412	26176
11122	21221	22232	22333	43132	11243	44415	51521	32666	21342	27664	63154
21122	11212	11233	23112	23413	12224	25423	44434	54153	61266	66626	26544
22221	11112	21233	22112	42232	42322	43333	54344	41465	22653	75135	53261
22221	11111	12233	11312	21422	34423	55221	33343	22321	44134	63337	15233
22122	11211	22233	22311	32333	32114	35213	25143	54643	14343	42326	15116
21211	22221	21213	13211	31131	33224	32251	24452	11244	62556	64272	25275
21212	12112	22231	12322	41224	21433	34211	31313	24236	12614	16266	37742
22122	21121	13131	22222	34413	24423	52543	42432	24612	53262	45574	71574
11212	21212	22233	21131	22141	43414	15124	15424	42626	36252	57142	52564
21112	12222	12212	12123	34442	12234	54143	54252	26566	26252	22123	11612
21221	21121	22213	21312	32334	11423	12124	42513	46664	63623	22617	21627
12211	22121	22211	21233	32413	21224	44223	35421	65561	25563	16241	56346
21122	22221	13133	11213	12314	33123	42255	53331	51346	52444	54125	71333
22211	22112	12133	23312	42441	33424	24413	21223	33213	64614	57351	37773
11121	12112	12122	22212	41214	31122	23211	54351	34513	35544	46513	61546
12222	21111	22121	21222	32244	12233	41542	21311	45211	26256	63565	12446
12221	12211	11222	22223	42142	14413	24413	42523	51642	63666	72721	16315
21111	21121	22221	33333	44223	34334	31543	25314	12343	64541	12232	77757

8	9	10	11	12
79668 53157	88910 33979	23687 23921	84925 35943	26203 57943
77444 61227	24681 66551	31684 7A166	83987 13353	42778 96428
18827 52765	66412 66867	727A8 79338	A1A8E 25529	C7436 8A358
66776 51632	76492 57978	5P519 84464	66256 A8831	64A57 52876
36622 88113	18842 66465	24558 26851	16949 2888E	E6116 99710
82262 85635	15119 35388	28244 41657	63449 22A48	8E0E1 83E53
23725 45863	69335 76635	73464 3A2A3	82956 E9238	2CB1A 71397
24487 61146	52361 37572	AA624 97237	71463 8813A	6223E 4E681
41764 51251	52115 92372	27211 92984	57433 15189	93439 E9AC2
66466 28615	65387 32524	11735 473A4	A472E 159A8	8C154 23719
11648 78247	73655 47357	22A68 22127	95289 39786	911EC E4769
15286 17158	52238 89238	23841 16422	28883 95216	32084 54662
61521 65541	71436 14625	79446 A4598	2478A 21316	82775 76250
65717 46471	71353 76911	55A55 44523	A8898 456A1	6B4A8 C6426
31357 82168	43627 55157	22588 32353	49881 84567	87880 25215
77377 11314	52845 43349	89414 8E784	A472E 86119	78A8C CC8C9
14387 24864	58457 71724	4CA77 975A1	E7A9E 37559	56447 2E254
71783 52782	26561 17504	981A7 18885	48594 25331	37212 2A514
58243 83512	46923 17418	8215A 52325	78414 4B175	84247 86188
74646 82312	52424 44556	25657 69251	9185E 23699	A989A 48265
71115 21235	68238 15754	A8288 43716	73562 87139	529E8 74642
12462 14446	16143 23777	26816 A6328	66876 9869A	24725 67986
85475 18527	45318 42224	8598A 18723	33A89 63744	89071 741A8
86465 93612	E7724 64513	7E776 88186	AA425 24881	5160E 54540
23486 74258	74146 29765	13791 27648	EA241 67796	5592A 33431
35713 57363	67221 74124	85AA3 A5386	51737 29723	87950 28125
57331 85452	75261 41755	67A42 52A78	B11AA 4A7A4	C158E A59A5
63431 71288	99729 22241	9978A 436AA	EE733 8A8AB	C9321 E8A65
73588 78223	93518 81575	E7227 97959	8E18E 8AA37	CC28A 7CC76
13265 74166	33937 54699	5565A 17625	12483 42567	28069 05558
44228 53518	96127 77769	14665 59455	E12A6 94A34	45441 4975E
68638 34168	31758 92258	33511 5A267	B19A5 A6341	1C4A2 64524
35475 68436	95423 66525	25228 74388	A7786 4237A	67184 27A23
36564 83437	12559 39379	75389 55566	33379 254A6	C5670 8666E
28174 23151	64641 66629	99A51 82361	63A82 2692A	85071 4317A
42327 38752	77143 85279	81A16 16712	28236 5A6B5	AE672 3CC09
77875 36667	48292 58373	17658 36426	78169 21847	46A48 58A1E
12226 12232	12448 72147	92253 9397A	EAB54 445B5	B988E 46376
14838 23481	25251 85536	811A2 55923	82594 51458	47720 89218
85343 53236	83672 72283	52748 57937	28552 3EA53	8852A 5AABC
46622 55846	98975 32857	45944 97751	79755 58545	24980 5A40E
67874 42545	18486 19581	97625 55647	8472A 41A82	11462 927A2
77256 13657	92952 81577	48289 247A4	277A9 116A3	29823 6E19E
14556 41674	65157 52425	47A27 45A36	37B3A 61262	92756 56559
23887 31754	95686 21247	78857 5A271	64788 157B4	83622 34452
41416 38577	32819 75182	A36A4 89939	8AB5A 89924	72258 8E592
11687 58257	52891 58991	37588 63923	3955A 43784	19106 32945
13112 79434	39393 47642	59652 68246	42992 12243	45880 82AA9
55122 16446	36255 52346	45721 72554	18845 E2265	67134 317A3
54173 51867	E4667 34875	51415 75848	7A815 27574	CC487 4E492
81322 62118	4E494 18525	23269 37161	58626 75344	1578E E2529
72417 28762	54664 35864	48428 32821	49A14 3619B	E4085 55007
81562 42122	77165 47139	75969 4A633	6988A 28743	A6AAE 86198
13754 85824	76286 67759	94A46 17A38	6B229 79518	7348E 212A1
72317 48583	25592 73259	353A7 2219A	41A6A F1568	75517 59A37
56676 64742	62461 5E864	95865 63348	A3763 13646	3486E 157B5
52433 84426	69412 65798	68825 98124	69E95 8642A	72675 05E45
42622 84866	88855 29251	A615A 17619	6887A 57362	51870 06487
11862 35658	88228 86982	52A5E 12215	7154E 83E21	5332A A2664
67312 45525	41755 64186	64875 55967	38421 3A13A	1962A E3480
35377 81245	91562 65985	A3743 A7356	225PA 81687	AA9CA E0E2A
38758 88551	50768 82238	73956 33553	2466E E6958	582A2 65E44
65221 47526	40852 47559	66825 A6818	32A56 85A77	73135 59214
68288 78152	39251 56629	333A5 A3A41	457AA 2A849	33A75 E71E7
26714 16477	57479 72316	57315 92485	29893 46A58	A111E 08A5E
11766 34442	41643 56212	35762 65916	A4467 7331E	1A459 E7A48
71424 86574	37269 32387	51282 A227A	33765 35884	10270 82479
84253 64737	52748 68511	9594A 64267	91976 625A6	12448 A885A
78411 73638	55557 75835	54417 17515	87656 E2611	99A61 93881
42931 61632	42335 89132	61235 51669	A7597 24199	36870 520E2
37172 61777	12487 12666	A527A 14649	3BA77 7287A	72637 E28A8
34717 18844	54482 11529	28592 73837	68663 568E3	C7A90 5792A
34448 14366	23845 85528	72425 A9228	A8768 24775	2A962 B62A2
85338 73367	35143 16523	77146 58571	18148 4A583	E2966 02759
86536 78638	12366 75476	1A673 A6426	86194 26A44	A166E 5818E

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - DREVET, A. - Méthodologie des démarches créatrices dans les sciences. THESE, 1968.
- 2 - MOLES, A. - Sociodynamique de la culture. Ed. Mouton, Paris et La Haye, 1967.
- 3 - DREYFUS, H.L. - Alchemy and artificial intelligence. The Rand Corporation, Santa Monica, California, 1965.
- 4 - ZWICKY, F. - Morphology of propulsive power. Soc. for Morphological Research, Pasadena, 1962.
- 5 - ZWICKY, F. - Morphological Astronomy. Springer-Verlag, Berlin, 1957
- 6 - ZWICKY, F. et WILSON, A.G. - New methods of thought and procedure. Springer-Verlag Berlin, 1967.
- 7 - KAUFMANN, A. ; DREVET, A. et FUSTIER, M. - L'inventique - Nouvelles méthodes de créativité. Entreprise moderne d'édition, 1970.
- 8 - KAUFMANN, A. - L'imagination artificielle. Revue française de recherche opérationnelle (série verte) n° 3, 1969.
- 9 - JANTSCH, E. - La prévision technologique. OCDE, Paris, 1967.
- 10 - GORDON, W.J. - Stimulation des facultés créatrices par la méthode synectique. Ed. Hommes et Techniques, Paris, 1961.
- 11 - KAUFMANN, A. - La combinatoire et ses applications. Ed. Dunod, 1968.

- 12 - KAUFMMAN, A. - Des points et des flèches. Ed. Dunod, 1969.
- 13 - ROUANET, H. - Les modèles stochastiques d'apprentissage. Ed. Gauthier-Villars - Mouton, Paris et La Haye, 1967.
- 14 - KARUSH, W. et DEAR, R.E. - Optimal stimulus presentation strategy for a stimulus sampling model of learning - II. Systems Dev. Corporation, Santa Monica, California, 1964.
- 15 - KARUSH, W. et DEAR, R.E. - Optimal procedure for an N-stage testing and learning process. Systems Dev. Corporation, Santa Monica, California, 1965.
- 16 - KARUSH, W. et DEAR, R.E. - Optimal procedure for an N-stage testing and learning process - II. Systems Dev. Corporation, Santa Monica, California, 1965.
- 17 - RIORDAN, J. - Applied combinatorial analysis. Ed. John Wiley, 1958.
- 18 - KEMENY, J.G. et SNELL, J.L. - Finite Markov chains. Ed. Van Nostrand, Princeton, New Jersey, 1960.
- 19 - HADLEY, G. - Linear programming. Ed. Addison-Wesley, 1965.
- 20 - KAUFMANN, A. - Les cadres et la révolution informatique. Entreprise moderne d'édition, 1968.
- 21 - SUPPES, P. et ATKINSONS, R.C. - Markov learning models for multiperson interactions. Ed. Stanford Univ. Press, 1960.
- 22 - - Recherches sur l'analyse morphologique. Exemple d'application au problème de transport interurbain. Doc. CEGOS/AUROC, Paris, mai 1969.
- 23 - - Le langage BASIC. Publ. Cie Bull-GE, 1968.

- 24 - - X BASIC. Extension du langage BASIC. Publ. Cie Bull-GE, 1968.
- 25 - - Bulletin d'information n° 5. Cie Bull-GE, octobre 1969.
- 26 - DREYFUS, M. - Fortran IV. Ed. Dunod (CIRO) Paris, 1969.
- 27 - CACHAT, R. - Utilisation du Fortran sur les machines IBM de la série 360 sous système OS. Publ. IMAG, 1968.
- 28 - - CP-67/CMS user's guide. Publ. IBM, 1970.
- 29 - - Fortran IV Language. Publ. IBM C28-65/5-7.

BOAVENTURA

Dernière page d'une thèse

VU
Grenoble, le
Le Président de la thèse

VU, et permis d'imprimer,
Grenoble, le
Le Doyen de la Faculté des Sciences

