

A. KAUFMANN

L'imagination artificielle

Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle. Série verte, tome 3, n° V3 (1969), p. 5-24

http://www.numdam.org/item?id=RO_1969__3_3_5_0

© AFCET, 1969, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle. Série verte » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

L'IMAGINATION ARTIFICIELLE (HEURISTIQUE AUTOMATIQUE)

par A. KAUFMANN

Professeur à l'Institut Polytechnique de Grenoble.
Conseiller Scientifique à la Compagnie Bull General Electric.

Résumé. — *L'auteur présente un certain nombre de recherches concernant la stimulation de l'imagination en utilisant un dialogue homme-machine. La méthode employée est dérivée des processus d'analyse morphologique de Zwicky. Des expériences effectuées sur des groupes ont permis de montrer l'intérêt de ces méthodes de stimulation. On présente plusieurs procédés : recherche morphologique par énumération, par randomisation libre, par cheminement aléatoire, par exploration du voisinage au sens de Hamming, par progression séquentielle. On souligne l'aspect cybernétique du processus à apprentissage et adaptation qui intervient dans l'innovation par l'homme ou le groupe en conversation avec la machine.*

De même que le concept d'intelligence artificielle, tel que les informaticiens le considère, n'a qu'une parenté assez vague avec ce qu'on entend généralement par intelligence humaine, laquelle est presque indéfinissable en toute rigueur par l'homme, le concept d'imagination artificielle est assez éloigné de ce qu'on entend tout aussi vaguement par imagination cérébrale humaine. Par imagination artificielle nous désignerons l'élaboration d'assemblages, plus ou moins complexes, par un programme réalisant une exploration (déterministe ou aléatoire) d'un univers combinatoire, contenant un nombre généralement très élevé de tels assemblages. Ces assemblages proposés à l'examen d'un homme ou d'un groupe sont alors acceptés ou refusés. Acceptés s'ils constituent une innovation ou sont supposés aptes à stimuler la recherche inventive du cerveau ; refusés si on les considère comme provisoirement inutiles. Dans l'état actuel des connaissances aucun sous-programme ne peut être capable de trier des assemblages d'après un critère d'innovation ⁽¹⁾ mais le cerveau humain peut le faire. Là encore on rencontrera un dialogue homme-machine qui donnera tout son sens aux possibilités de l'ordinateur.

(1) Sauf exceptions très élémentaires.

Les recherches que nous avons entreprises ne se sont pas appuyées, en ce qui concerne l'emploi de l'ordinateur sur des travaux antérieurs ; nous n'avons pas eu connaissance de recherches similaires mais il serait étonnant que de telles idées n'aient pas été explorées par d'autres. Nous n'avons pas pu trouver une liste même modeste de recherches sur l'emploi des ordinateurs pour la stimulation inventive, à l'exception des travaux concernant la composition musicale et l'esthétique picturale non figurative [B1], [B2].

Nos recherches sont modestes mais en publiant les premiers résultats nous espérons attirer l'attention de plusieurs collègues informaticiens, mathématiciens et psychologues sur les possibilités offertes.

Par le mot « assemblage » nous désignerons un objet de la pensée construit d'une façon spécifiée à partir d'ensembles finis. Ainsi, une machine, par exemple une automobile, est un assemblage, de même un réseau électrique, un système de production, une image ramenée à une superposition de points, une composition musicale, un algorithme (sous certaines restrictions), un corps chimique, etc.

Dans la présente étude nous sommes limités au cas particulier des assemblages constitués par des r -uplets éléments d'un ensemble produit de r ensembles finis. Mais de nombreuses extensions intéressantes sont concevables. Pour les besoins d'une analyse mathématique d'ailleurs assez élémentaire, ces assemblages seront appelés « r -assemblages » quand ce seront des r -uplets au sens mathématique.

L'exploration combinatoire à laquelle nous nous sommes livrés dans les expériences à l'aide d'un ordinateur est basée sur la méthode de Zwicky [Z1] [Z2] [Z3] ou « méthode morphologique ». Mais comme on le constatera les processus exploratoires que nous avons employés sont très éloignés de ceux utilisés par Zwicky, lequel à notre connaissance n'a pas utilisé l'ordinateur pour de telles explorations. Mais la méthode morphologique peut être aussi ramenée à l'Ars Magna de Ramon Lull qui, il y a sept siècles, se servit de la notion d'assemblage telle que nous l'avons utilisée dans nos travaux.

Pour expliquer la façon particulière selon laquelle nous allons utiliser la méthode morphologique nous introduirons un vocabulaire adapté.

Considérons une structure concrète ou abstraite formée de composants bien spécifiés ; supposons que, à chacun des composants on puisse associer d'autres homologues susceptibles de jouer le même rôle dans la structure. Ainsi pourrait-on définir des ensembles d'homologues A, B, \dots, R et écrire qu'une structure est formée par un r -uplet ou r -assemblage :

$$(\alpha_i, \beta_j, \dots, \rho_n) \quad \text{où} \quad \alpha_i \in A, \beta_j \in B, \dots, \rho_n \in R.$$

Les ensembles A, B, \dots, R seront appelés « ensembles formateurs ». L'ensemble des ensembles formateurs $\{A, B, \dots, R\}$ sera appelé « morphologie générale » ou plus simplement « morphologie ». Enfin, l'ensemble produit $A \times B \times \dots \times R$ sera appelé « ensemble produit morphologique ».

RECHERCHE MORPHOLOGIQUE PAR ENUMERATION

Cette méthode consiste à énumérer tous les r -assemblages sans omission ni répétition. On peut imaginer un grand nombre de procédés mais un des plus simples consiste à construire un treillis vectoriel, qui sera exploré niveau par niveau. Ce procédé trivial n'est évidemment utilisable qu'à la condition d'avoir un ensemble produit morphologique ayant un cardinal pas trop grand. On sait que, si l'on ordonne par une relation d'ordre total stricte chaque ensemble A, B, \dots, R , alors ces r -relations induisent dans l'ensemble produit $A \times B \times \dots \times R$ une relation d'ordre stricte et partielle qui est un treillis vectoriel. Il est alors facile de faire apparaître dans ce treillis vectoriel une fonction ordinale qui permettra d'énumérer niveau après niveau l'ensemble produit. Ce procédé revient d'ailleurs à construire un ordre total lexicographique.

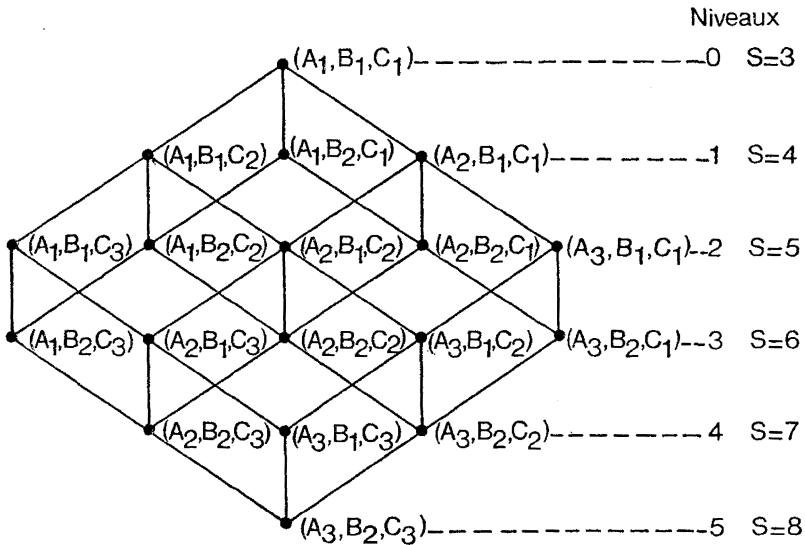


Figure 1

Considérons, par exemple, la morphologie suivante dont les ensembles d'homologues sont :

$$\begin{aligned} A &= \{ A_1, A_2, A_3 \}, \\ B &= \{ B_1, B_2 \}, \\ C &= \{ C_1, C_2, C_3 \}. \end{aligned} \quad (1)$$

Supposons que ces ensembles soient ordonnés par l'ordre numérique des indices de leurs éléments. Les 18 r -assemblages sont alors structurés

par une relation d'ordre partiel stricte, qui forme un treillis vectoriel. Sur la figure 1 on a présenté le diagramme de Hasse de ce treillis vectoriel.

On peut maintenant supposer que l'ordre total de chaque ensemble d'homologues, n'est pas quelconque mais qu'il correspond à une préférence formant un ordre total ; alors les niveaux du treillis vectoriel donneront des sous-ensembles de r -assemblages ayant un même niveau de préférence. La notion de préférence ordonnée considérée ici peut être considérablement étendue à toute autre relation d'ordre.

Il est facile de réaliser un programme d'énumération dans un langage symbolique, par exemple en Fortran, pour explorer de cette façon une morphologie.

Pour en rester à cette exploration de caractère trivial voyons un exemple tout aussi trivial. Cherchons un 3-assemblage pouvant réaliser un objet similaire à un stylographe (fig. 2).

ORDRE	A_i homologue de la plume	B_j homologue de l'encre	C_k homologue de la cartouche
1	Plume	Encre	Cartouche
2	Bille	Poudre	Poche
3	Trou capillaire	Pâte	Cylindre et piston
4	Pointe feutre	Gaz	Matière absorbante
5	Pointe nylon		

Figure 2

Ainsi le 3-assemblage (A_3, B_4, C_4) correspond à un objet pour écrire qui utiliserait un trou capillaire par où sortirait un gaz emmagasiné dans une matière absorbante. Les 80 3-assemblages sont facilement énumérables par ordre lexicographique.

Ce procédé d'énumération est rapidement inutilisable lorsque le cardinal $|A \times B \times \dots \times R|$ est assez grand, aussi examinerons-nous un procédé d'énumération restreinte.

RECHERCHE MORPHOLOGIQUE PAR ENUMERATION RESTREINTE

Une première façon d'opérer consiste à limiter l'énumération aux premiers niveaux du treillis vectoriel mais il n'est pas certain évidemment que ce sous-ensemble de r -assemblages soit intéressant en ce qui concerne la créativité. Toutefois on n'est plus limité par la haute cardinalité de la morphologie. L'ordre strict total de chaque ensemble d'homologues est très souvent trop arbitraire, et le treillis vectoriel induit par ces relations d'ordre n'est généralement pas très significatif eu égard à l'intention de recherche inventive.

Un procédé plus élaboré consiste à construire en parallèle plusieurs treillis vectoriels induits par des relations d'ordre différentes et de demander à l'ordinateur, par un programme approprié, d'extraire les r -assemblages les mieux situés par rapport aux différents niveaux. On retrouve là une idée bien connue en recherche opérationnelle lorsque l'on se propose de faire un choix soumis à plusieurs critères.

Illustrons ces explications par un exemple simple pour ne pas présenter des figures trop compliquées. Supposons que la morphologie donnée en (1) où, l'ordre des ensembles d'homologues est celui des indices numériques, soit considérée avec un autre ordre, le suivant :

$$\begin{aligned}
 A &= \{ A_2, A_3, A_1 \} \text{ ordre } 2 \succ 3 \succ 1, \\
 B &= \{ B_2, B_1 \} \quad \text{ordre } 1 \succ 2, \\
 C &= \{ C_1, C_3, C_2 \} \text{ ordre } 1 \succ 3 \succ 2.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

La morphologie ordonnée dans l'ordre des indices donne le treillis vectoriel de la figure 1 (ou 3) tandis que la même morphologie ordonnée selon (2) donne la figure 4. Considérons maintenant les deux treillis vectoriels des figures 3 et 4. Examinons les 3-assemblages et pour chacun d'eux faisons la somme des niveaux ; on obtient un nouveau classement. Ainsi au niveau 2 on trouvera les 3-assemblages (A_2, B_1, C_1) et (A_2, B_2, C_1) , au niveau 3 (A_1, B_1, C_1) et (A_1, B_2, C_1) , au niveau 4...

On peut également pondérer les niveaux des différents treillis vectoriels pour satisfaire aux différents critères choisis.

Ainsi, un classement des r -assemblages limités aux niveaux les plus bas (ou les plus hauts) peut-il être facilement réalisé. La programmation sur ordinateur ne pose aucune difficulté.

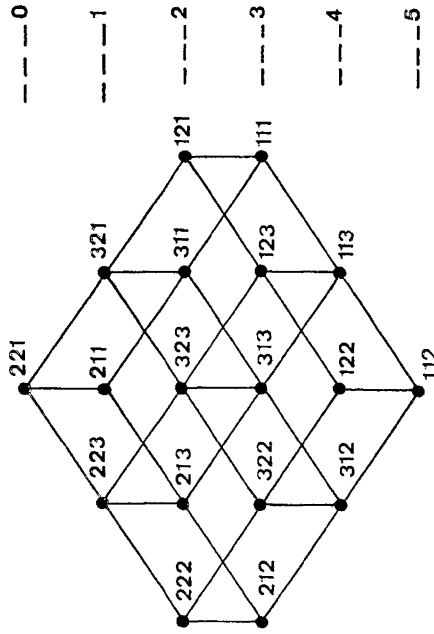


Figure 4

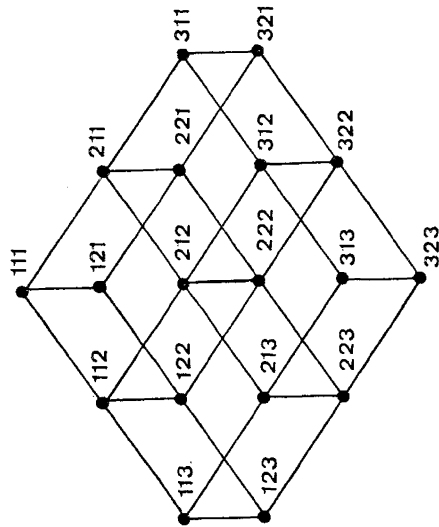


Figure 3

RECHERCHE MORPHOLOGIQUE PAR RANDOMISATION LIBRE

Généralement, dans les applications de la méthode morphologique le nombre de r -assemblages est très grand et il convient, comme nous l'avons précisé plus haut, d'examiner seulement un sous-ensemble, parfois modeste, de r -assemblages. On peut alors se proposer d'extraire par randomisation un échantillon de r -assemblages. On affecte alors une probabilité de sortie à chaque r -assemblage et on utilise une méthode de Monte-Carlo.

Soit :

$$\begin{aligned}
 A &= \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_a \}, pr(\alpha_i) = p_{\alpha_i}, \sum_{i=1}^a p_{\alpha_i} = 1, \\
 B &= \{ \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_b \}, pr(\beta_j) = p_{\beta_j}, \sum_{j=1}^b p_{\beta_j} = 1, \\
 R &= \{ \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_q \}, pr(\rho_s) = p_{\rho_s}, \sum_{s=1}^q p_{\rho_s} = 1.
 \end{aligned} \tag{3}$$

La détermination des lois de probabilités est arbitraire mais on admet le plus souvent des lois équiprobables. Toutefois, la structure de la morphologie peut amener à différencier ces probabilités.

RECHERCHE MORPHOLOGIQUE PAR CHEMINEMENT ALEATOIRE

On construit un treillis vectoriel comme il a été indiqué ci-dessus pour l'énumération. Un *extremum* du treillis vectoriel sera choisi de telle sorte que le premier r -assemblage examiné soit cet *extremum*, nous l'appellerons « origine du chemin aléatoire ». Partant de cette origine le programme fera progresser d'un r -assemblage à un autre si cet autre est son voisin. Autrement dit, on progressera de r -assemblage en r -assemblage de telle sorte que, à chaque fois, la distance de Hamming généralisée soit égale à 1 entre deux r -assemblages. Rappelons ce qu'on entend par distance de Hamming généralisée, soient deux r -assemblages :

$$(\alpha_i', \beta_j', \dots, \rho_q) \quad \text{et} \quad (\alpha_i, \beta_j, \dots, \rho_q). \tag{4}$$

La distance de Hamming généralisée sera :

$$d = |i' - i| + |j' - j| + \dots + |q' - q|. \tag{5}$$

En prenant une distance de Hamming de 1 on parcourt progressivement un chemin tel que chaque r -assemblage ne diffère du précédent que par

la modification d'un seul composant du r -assemblage (un changement d'indice augmenté ou diminué de 1 pour un seul élément).

Considérons, par exemple, la morphologie suivante dont les ensembles d'homologues sont ordonnés par les indices :

$$\begin{aligned} A &= \{ A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 \}, \\ B &= \{ B_1, B_2 \}, \\ C &= \{ C_1, C_2, C_3 \}. \end{aligned} \tag{6}$$

Le treillis vectoriel correspondant a été représenté sur la figure 5. Sur ce treillis on a représenté, à titre d'exemple, un chemin obtenu par randomisation.

On peut considérer différentes variantes concernant la façon de cheminer dans le treillis vectoriel. Nous avons expérimenté un cheminement par chemin élémentaire (on s'impose de ne jamais passer deux fois par le même r -assemblage). Dans ce cas il est possible que, au cours du cheminement, un r -assemblage soit une impasse, c'est-à-dire qu'on ne puisse plus progresser sans repasser par un r -assemblage déjà inclus dans le chemin ; on peut alors donner une règle d'arrêt à l'heuristique ou une règle d'exception.

La programmation de l'ordinateur n'est pas très compliquée. A chaque r -assemblage, on établit par des règles de différence pour les indices, quels sont les r -assemblages distants de 1 et qui n'ont pas encore été atteints.

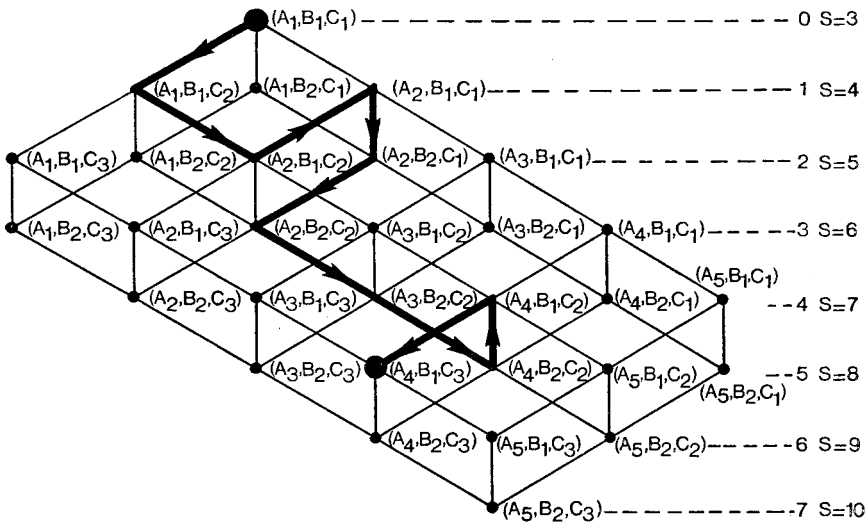


Figure 5

Les probabilités conditionnelles de déplacement vers les r -assemblages voisins (distance 1) peuvent être distribués selon des lois quel-

conques. Dans nos expériences nous avons pris des probabilités égales pour se déplacer vers les r -assemblages restant disponibles. Un exemple est donné en annexe.

RECHERCHE MORPHOLOGIQUE PAR RESSEMBLANCE

La méthode employée dans ce cas est assez voisine de celle qui est utilisée dans les procédés d'analyse pour la reconnaissance des formes (pattern recognition) [K2].

Le langage mathématique utilisé ici sera aussi voisin de celui utilisé dans la théorie de la reconnaissance des formes. Soient deux sous-ensembles de r -assemblages A et B . Un r -assemblage appartenant à A sera dit « intérieur à A par rapport à B » s'il ne se trouve pas à une distance de Hamming égale à 1 d'un r -assemblage appartenant à B . Si un r -assemblage appartenant à A se trouve à une distance égale à 1 d'un r -assemblage appartenant à B , on dit alors que ce r -assemblage est un « r -assemblage frontière de A et de B ». On dira qu'un sous-ensemble A de r -assemblages est d'autant plus « compact » par rapport à un sous-ensemble B , qu'il possède une proportion importante de r -assemblages intérieurs. On conçoit que la compacité n'ait de sens que sous une forme conditionnelle.

On définit aussi un taux « de compacité » ou « indice de dissemblance ». Soient deux sous-ensembles disjoints A et B de r -assemblages d'un même treillis vectoriel. On appellera « taux de compacité de A par rapport à B » le rapport du nombre de r -assemblages intérieurs à A par rapport à B au nombre de r -assemblages de A . On notera $\gamma(A | B)$ cet indice de dissemblance. On peut alors énoncer la propriété suivante : un sous-ensemble de r -assemblages « est d'autant plus séparable d'un autre que son indice est plus près de 1 ». On dit qu'un sous-ensemble de r -assemblages est « parfaitement compact » par rapport à un autre si son taux de compacité est égal à 1. On dit qu'il est « inséparable » si son taux de compacité est égal à 0.

Voyons un exemple (fig. 6). On considère la morphologie suivante ordonnée selon les indices :

$$A = \{ A_1, A_2, A_3 \},$$

$$B = \{ B_1, B_2, B_3 \},$$

$$C = \{ C_1, C_2, C_3 \}.$$

On a représenté sur la figure 6 plusieurs sous-ensembles caractérisés par des propriétés. On a alors, par exemple :

$$\gamma(E_1 | E_2) = \frac{6}{9} = \frac{2}{3} \quad , \quad \gamma(E_1 | E_3) = 0 \quad , \quad \gamma(E_3 | E_2) = \frac{3}{5}. \quad (8)$$

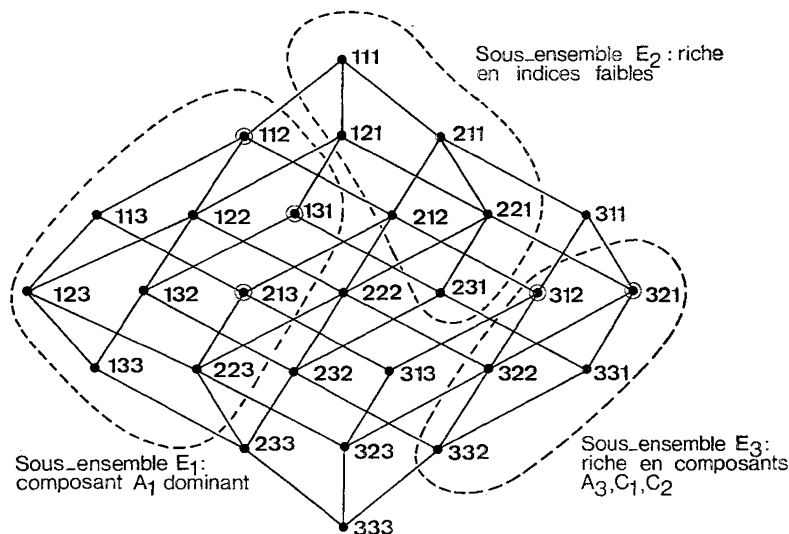


Figure 6

De telles considérations s'avèrent très utiles pour étudier des concepts ayant une certaine ressemblance entre eux. Au lieu d'explorer toute la morphologie, le programme peut limiter l'exploration aux r -assemblages intérieurs.

Dans cet ordre d'idées nous effectuons actuellement des recherches sur l'intérêt de considérer le diagramme de Harse du treillis vectoriel comme un graphe (au sens de Berge) par une orientation des paires d'éléments appartenant au diagramme dans le sens de la croissance des niveaux. Il est alors intéressant de considérer dans ce graphe sans circuit la fonction du Grundy et le noyau. La fonction de Grundy fait apparaître, en quelque sorte un « anti-voisinage », des conceptions qui ne se ressemblent pas.

On sait qu'il est très facile de réaliser un programme d'ordinateur donnant, dans le cas d'un graphe sans circuit, la fonction de Grundy et le noyau.

RECHERCHE MORPHOLOGIQUE SEQUENTIELLE DETERMINISTE

Soit $A \times B \times C \times D \times \dots \times R$ une morphologie. On considère d'abord une sous-morphologie, par exemple $A \times B$. De $A \times B$ on extrait un sous-ensemble de 2-assemblages, soit $A_2 \subset (A \times B)$. On considère alors la morphologie $A_2 \times C$ dont on sélectionne un sous-ensemble de 2-assemblages $A_3 \subset (A_1 \times C)$. On passe à la morphologie $A_3 \times D$ et au

sous-ensemble $A_4 \subset (A_3 \times D)$. Et ainsi de suite jusqu'à $A_{r-1} \times R$ où l'on sélectionne $A_r \subset (A_{r-1} \times R)$.

Ce procédé par tamisages successifs permet de sélectionner un sous-ensemble de 2-assemblages qui est en réalité un sous-ensemble de r -assemblages, il suffit pour cela de redécomposer les 2-assemblages de A_{r-1} en $(r - 1)$ -assemblages.

Cette méthode de sélection exige évidemment un dialogue homme-machine séquentiel. Présentation par la machine des éléments de $A \times B$, sélection par l'homme de A_2 , présentation de $A_2 \times C$ par la machine, sélection par l'homme de A_3 , présentation de $A_3 \times D_1 \dots$ et ainsi de suite.

Ce procédé a donné d'excellents résultats pratiques pour des recherches normatives ; ceci à cause d'une convergence assez rapide.

Finalement le procédé employé s'apparente à la méthode des matrices de découverte de Moles [M1].

RECHERCHE MORPHOLOGIQUE SEQUENTIELLE ALEATOIRE (PROBABILITES SUBJECTIVES)

Soit $A \times B \times C \times D \times \dots \times R$ une morphologie. On considère les probabilités subjectives permettant d'associer les éléments de A aux éléments de B . Soit

$$pr \{ A_i | B_j \} = p_{ij}^{(1)}, \quad \sum_{j=1}^b p_{ij}^{(1)} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, a. \quad (3)$$

Puis les éléments de B aux éléments de C . Soit :

$$pr \{ B_j | C_k \} = p_{jk}^{(2)}, \quad \sum_{k=1}^b p_{jk}^{(2)} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, b.$$

et ainsi de suite.

On obtient ainsi un graphe séquentiel.

Un exemple est donné sur la figure 7.

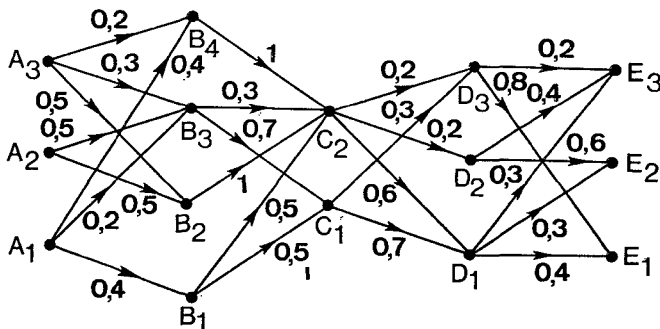


Figure 7

Le graphe séquentiel ayant été obtenu on peut facilement évaluer par la programmation dynamique ⁽¹⁾ (au sens de Bellman-Pontryagin) le (ou les) r -assemblage ayant la plus faible probabilité subjective ou la plus forte. De là le (ou les) r -assemblage 2-optimaux de cette manière, puis les 3-optimaux, etc. Une méthode de k -optimalité dans les graphes séquentiels a été proposée par Kaufmann et Cruon [K1], il en existe d'ailleurs de nombreuses variantes. Ainsi la morphologie est-elle explorée par un processus de k -optimalité.

Les probabilités subjectives peuvent être établies à partir de critères de différentes natures dépendant de la nature de la morphologie. Par exemple : le plus concevable, le moins concevable, le mieux réalisable, le moins réalisable, le plus imprévu, etc.

Un autre procédé consiste à choisir les trajectoires du graphe séquentiel (c'est-à-dire les r -assemblages) par une méthode de Monte-Carlo respectant les probabilités subjectives de transition.

Nous avons énuméré dans les pages qui précèdent diverses méthodes morphologiques, des variantes sont concevables à l'infini. Quand on aura davantage d'expérience sur leur efficacité pour certains types de recherches, un classement de ces méthodes d'après leurs champs respectifs d'applications pourra très probablement être établi.

LE DIALOGUE HOMME-MACHINE DE STIMULATION INVENTIVE

Il est entendu que, lorsque nous parlerons de dialogue homme-machine il conviendra d'admettre que, dans bien des cas il s'agira d'un dialogue groupe-machine, les décisions du groupe de retenir et éventuellement utiliser une morphologie comme point de départ inventif, s'établissant, après une discussion générale, selon des méthodes convenables connues des psycho-sociologues. Toutefois, dans d'autres cas, il s'agira d'un dialogue, un homme et une machine. Précisons encore que les expériences que nous avons effectuées ont été réalisées à partir de consoles utilisant un (ou plusieurs) ordinateurs en temps-partagé.

Sur la figure 8 on a présenté un schéma général opératoire indiquant les principales opérations intervenant dans la stimulation inventive homme-machine à l'aide de morphologies.

La figure 8 mérite quelques explications. On distingue d'abord sur ce schéma général les deux domaines : l'homme (H) et la machine (M) entre lesquels le dialogue s'établit.

(1) Un r -assemblage est alors un « chemin » ou « trajectoire » du graphe séquentiel.

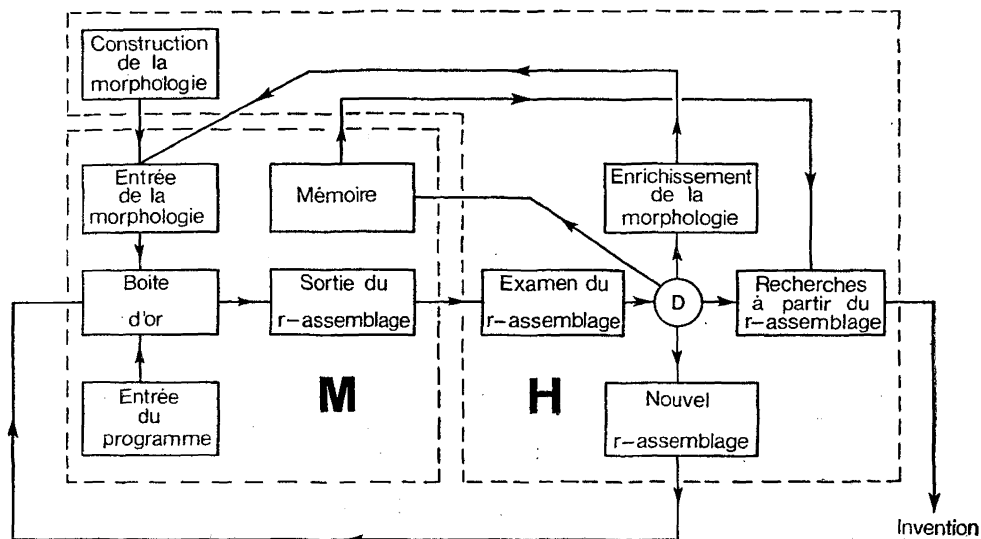


Figure 8

Schéma général d'une stimulation inventive homme-machine. M : domaine de l'ordinateur, H : domaine de l'homme, D : décision.

La machine, ici un ordinateur, contiendra les organes centraux et périphériques habituels mais nous retiendrons surtout les fonctions qui y seront obtenues à partir de programmes permettant d'explorer des morphologies. On appelle généralement « boîte noire » une partie de machine abstraite ou concrète telle qu'un événement obtenu à la sortie ne peut être prévu à partir de la connaissance d'un événement introduit à l'entrée ; mais, cet événement sorti est contrôlé par une intelligence extérieure ou par la nature. Dans une « boîte d'or » cet événement sorti dépend d'une intervention interne sans qu'il soit possible de spécifier comment cette intervention réalise ses effets. L'imagination de l'homme est une telle boîte d'or ⁽¹⁾. On pourrait dire que, dans une boîte d'or, il peut sortir plus d'information qu'il en pénètre ⁽²⁾. Dans le cas où le rôle de l'imagination artificielle est de produire des *r*-assemblages ceux-ci seront soumis à la décision humaine, ce qui peut conduire généralement à quatre situations possibles : mise en mémoire dans la machine en vue d'un usage ultérieur, enrichissement de la morphologie, recherche inventive et enfin abandon du *r*-assemblage conduisant à la demande d'un autre. C'est en quelque sorte, un processus dialectique entre l'homme et le programme de la machine.

(1) Un de nos amis a proposé de l'appeler « boîte de Pandore » mais à l'encontre de la boîte de l'épouse d'Epiméthée, il peut en sortir tout autant des bienfaits que des maux.

(2) Du point de vue de la Théorie de l'Information une telle affirmation pourrait conduire à d'importantes controverses.

PREMIERS RESULTATS ET DEVELOPPEMENTS POSSIBLES

Des expériences diverses ont été menées dans deux directions différentes. La première nous a amené à étudier la stimulation inventive, par les procédés que nous préconisons, sur des groupes de recherche technologique. Ces expériences (1) ont porté sur des groupes formés de 6 à 8 personnes réunies en vue de recherches normatives ou non-normatives (sans but spécifié de la recherche). Ces groupes comprenaient obligatoirement un ou deux psychologues ayant déjà une certaine connaissance du dialogue homme-machine. Les autres personnes étaient des ingénieurs ou cadres supérieurs de la branche technologique concernée par l'étude. Des essais ont été faits en utilisant les diverses méthodes précisées ci-avant. Les résultats de ces expériences sont très encourageants mais il faudra les répéter un grand nombre de fois pour obtenir des informations définitivement valables sur la qualité et l'adaptation de chacune des méthodes. Ce sont les méthodes basées sur un procédé de randomisation qui ont semblé les meilleures pour réaliser des « déblocages » des processus inventifs du groupe. On notera que, le plus souvent, ce n'est pas le *r*-assemblage retenu qui a constitué un fruit utile de l'imagination artificielle mais un autre *r*-assemblage non proposé encore par la machine et obtenu par une discussion à l'intérieur du groupe humain. Mais quelquefois, un *r*-assemblage directement utile a pu être obtenu, par la machine. Il est à noter que la stimulation extérieure est beaucoup plus efficace, pour le groupe, que des procédés de stimulation internes au groupe généralement obtenus à partir d'une libération des contraintes qui se construisent au fur et à mesure de la recherche.

L'autre direction nous a amené à des expériences (2) portant sur des étudiants de l'enseignement supérieur en physique. Ces étudiants étaient déjà habitués à se servir de consoles communiquant en temps partagé avec un important centre (Matériel Bull General Electric). L'utilisation des consoles avait surtout concerné l'enseignement programmé et l'on s'est alors préoccupé d'essayer sur ces étudiants des procédés de stimulation inventive. On a demandé à chaque étudiant de construire une morphologie relative à un phénomène qui l'intéressait particulièrement. Puis, chacun utilisant individuellement une console, a obtenu par « salve » ou « fournée » de 10 *r*-assemblages, des stimulations inventives. On a essayé plusieurs des méthodes décrites plus haut, les unes convenant mieux que d'autres. Suivant le cas la recherche a été plus ou moins normative. Plusieurs idées très nouvelles et méritant des efforts de recherches ont été obtenues.

(1) Expériences effectuées dans le cadre des recherches du Centre d'Heuristique Appliquée (C.H.A.) à Lyon sous la direction de M. Fustier.

(2) Expériences effectuées au Département de Physique de la Faculté des Sciences de l'Université de Louvain sous la direction du Pr Jones.

On doit noter que la recherche morphologique n'est pas seulement intéressante pour la stimulation inventive mais aussi pour l'analyse de phénomènes très généraux.

Il convient aussi d'ajouter que nous entreprenons actuellement d'autres travaux dans des voies un peu différentes ; par exemple en étudiant les liaisons existant entre des assemblages élaborés en vue de construire d'autres assemblages par cheminement dans un graphe ou en organisant des configurations nouvelles permettant un certain degré d'originalité. De tels procédés doivent être utiles à des compositeurs ou à des artistes picturaux. Les domaines de la publicité et du roman policier peuvent aussi contenir des applications intéressantes de nos méthodes.

Avant de terminer, je voudrais citer les noms de quelques informaticiens qui ont été les premiers à entreprendre la réalisation de méthodes et programmes sur nos conseils dans ce domaine.

Philippe PORÉ, conseiller scientifique auprès de la Compagnie Bull General Electric.

Charles NEYT, ingénieur analyste, Département Time-Sharing, Bull General Electric Belgique.

Daniel COSTER, Gérard TERRU, ingénieurs analystes, INFOR, Lyon.

Paulo BOAVENTURA, ingénieur candidat docteur, Institut de Mathématiques Appliquées, Grenoble.

Exemple de recherche morphologique pour randomisation libre -
langage Basic - Console BULL G.E. en Time-Sharing -

LISTNH

```

10 DIM AT(100).I(10)
20 READ N
30 FOR I1=1 TO N
40 READ I(I1)
50 NEXT I1
60 FOR J=1 TO 60
70 READ AT(J)
80 NEXT J
100 FOR J1=1 TO 10
110 FOR I2=1 TO N
120 LET M=INT(I(I2)*RND(-5)+1)
125 LET M1 = 1+10*(I2-1)
130 LET M2= 1+10*(I2-1)
135 PRINT AT(M1).AT(M2)
140 NEXT I2
142 PRINT
143 PRINT
150 NEXT J1
200 DATA 6
310 DATA 4,7,5,8,6,5
320 DATA 0SOURCE,0THERMOIONIQUE,0EFFET COMPTON,0PHOTOELECT
330 DATA 0TRANSF RADIOA,0D.D.D.D
350 DATA 0MOUVEMENT,0UNIFORME,0UNIF ACCO,0UNIF DECC,0VARIAT.PER0
360 DATA 0DISCONTINU,0ALEATOIRE,0INCERTAIN,0D,D
300 DATA 0TRAJECTOIRE,0RECTIL,0CIRCUL,0SPIRALE,0HELICOID,0
310 DATA 0QUELCONQUE,0D,D,D,D
400 DATA 0MILIEU,0VIDE,0GAZ RARE,0GAZ DENSE,0METAL,0SEMI-CONDUCTO
410 DATA 0LIQUIDE,0METASTABLE,0HETEROGENE,0D
500 DATA 0CONTROLE,0CH ELECTROST,0CH MAGN,0COLLISIONO
510 DATA 0INTER PARTO,0INTER PHOTO,0INTER GRAY,0D,D,D
600 DATA 0REPERAGE,0ECRAN,0CHBR GAZO,0CHBR BULLES,0CHBR ETINC
610 DATA 0OSCINTILLATEURO,0D,D,D,D

```

STIMUL 17.04 TS-BRU 05/03/69

SOURCE	PHOTOELECT
MOUVEMENT	UNIF DECC
TRAJECTOIRE	RECTIL
MILIEU	GAZ DENSE
CONTROLE	CH ELECTROST
REPERAGE	CHBR BULLES

SOURCE	TRANSF RADIOA
MOUVEMENT	UNIF DECC
TRAJECTOIRE	HELICOID.
MILIEU	METAL
CONTROLE	CH ELECTROST
REPERAGE	CHBR ETINC

SOURCE	EFFET COMPTON
MOUVEMENT	INCERTAIN
TRAJECTOIRE	HELI COID.
MILIEU	VIDE
CONTROLE	INTER PART
REPERAGE	CHBR ETINC

SOURCE	EFFET COMPTON
MOUVEMENT	UNIF ACC
TRAJECTOIRE	CIRCUL
MILIEU	LIQUIDE
CONTROLE	INTER PHOTO
REPERAGE	CHBR ETINC

SOURCE	THERMOIONIQUE
MOUVEMENT	VARIAT PER
TRAJECTOIRE	HELI COID.
MILIEU	SEMI-CONDUCT
CONTROLE	INTER GRAV
REPERAGE	ECRAN

SOURCE	THERMOIONIQUE
MOUVEMENT	UNIF DECC
TRAJECTOIRE	SPIRALE
MILIEU	HETEROGENE
CONTROLE	INTER PART
REPERAGE	ECRAN

SOURCE	PHOTOELECT
MOUVEMENT	UNIFORME
TRAJECTOIRE	QUELCONQUE
MILIEU	GAZ DENSE
CONTROLE	INTER GRAV
REPERAGE	ECRAN

SOURCE	TRANSF RADIOA
MOUVEMENT	INCERTAIN
TRAJECTOIRE	CIRCUL
MILIEU	HETEROGENE
CONTROLE	CH MAGN
REPERAGE	CHBR BULLES

SOURCE	EFFET COMPTON
MOUVEMENT	UNIF ACC
TRAJECTOIRE	QUELCONQUE
MILIEU	VIDE
CONTROLE	CH ELECTROST
REPERAGE	CHBR ETINC

SOURCE	EFFET COMPTON
MOUVEMENT	UNIF ACC
TRAJECTOIRE	RECTIL
MILIEU	GAZ RARE
CONTROLE	INTER PART
REPERAGE	SCINTILLATEUR

Exemple de recherche morphologique par cheminement aléatoire.
Langage Basic - Console Bull G.E. en Time-Sharing

STIM2 16.36 T-BRU 02/05/69

```

10 DIM A(110), I(10)
11 DIM K(10)
12 FOR I=1 TO 10
13 READ K(I)
14 NEXT I
15 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
20 READ N
30 FOR I1=1 TO N
40 READ I(11)
50 NEXT I1
60 FOR I=1 TO 88
70 READ A(J)
80 NEXT J
100 FOR J1=1 TO 10
110 FOR I2=1 TO N
125 LET M1 = 1+11*(I2-1)
130 LET M2=K(I2)+1+11*(I2-1)
131 IF N1=I2 THEN 137
135 PRINT A(M1), A(M2)
136 GOTO 140
137 PRINT A(M1), A(M2), " - "
140 NEXT I2
142 PRINT
143 PRINT
150 LET M=SGN(PND(-5))-5
155 LET N1=INT(N*RND(-5)+1)
160 LET K(N1)=K(N1)+M
165 IF K(N1), 1 THEN
170 IF K(N1), 1 THEN 195
175 GOTO 200
185 LET K(N1)=K(N1)-2*M
200 NEXT I1
210 DATA 8
220 DATA 6,7,9,6,5,7,6,8
230 DATA "MATIERE", "BOIS", "METAL", "LIQUIDE", "PIERRE", "CAOUTCHOUC"
240 DATA "ARGILLE", "D", "D", "D", "D"
250 DATA "FORME", "BILLE", "CYLINDRE", "CUBE", "PLAQUE RECT.", "CONE"
260 DATA "RESSORT", "PLAQUE CIRC.", "D", "D", "D"
270 DATA "CAUSE", "PESANTEUR", "FORCE", "PRESSION", "VISCOSITE"
280 DATA "ELASTICITE", "TENSION SUPERF.", "ATTR. ELECTROST."
290 DATA "CHAMP MAGN.", "DIFF. POT.", "D"
300 DATA "LIAISON", "POULIE", "ROUE", "PLANO", "FIL", "CROCHET", "COUTEAU"
310 DATA "D", "D", "D", "D"
320 DATA "TYPE DE MVTO", "UNIFORME", "UNIF. ACCELERE", "PERIODIQUE"
330 DATA "VIBRATOIRE", "HARMONIQUE", "D", "D", "D", "D"
340 DATA "TRAJECTOIRE", "DROITE", "CERCLE", "HYPERBOLE", "PARABOLE"
350 DATA "ELLIPSE", "SINUSOIDE", "SPIRALE", "D", "D"
360 DATA "MILIEU", "VIDE", "AIR", "EAU", "LIQ.", "VISC.", "LIQ. MOUILLANT"
370 DATA "LIQ. NON MOUILL.", "D", "D", "D", "D"
380 DATA "CONTROLE", "METRE", "CIRONOMETRE", "BALANCE", "EPROUVETTE GRAD"
390 DATA "AMPEREOMETRE", "VOLTMETRE", "RAPPORTEUR", "THERMOMETRE", "D"

```

STIM 2 16.39 T-BRU 02/05/69

MATIERE	BOIS	
FORME	BILLE	
CAUSE	PESANTEUR	
LIAISON	POULIE	
TYPE DE MVT	UNIFORME	
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	METRE	
MATIERE	METAL	X-
FORME	BILLE	
CAUSE	PESANTEUR	
LIAISON	POULIE	
TYPE DE MVT	UNIFORME	
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	METRE	
MATIERE	METAL	
FORME	BILLE	
CAUSE	PESANTEUR	
LIAISON	POULIE	
TYPE DE MVT	UNIF.ACCELERE	X-
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	METRE	
MATIERE	METAL	
FORME	BILLE	
CAUSE	PESANTEUR	
LIAISON	ROUE	X-
TYPE DE MVT	UNIF.ACCELERE	
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	METRE	
MATIERE	METAL	
FORME	BILLE	
CAUSE	PESANTEUR	
LIAISON	ROUE	
TYPE DE MVT	UNIF.ACCELERE	
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	CHRONOMETRE	X-
MATIERE	METAL	
FORME	BILLE	
CAUSE	PESANTEUR	
LIAISON	ROUE	
TYPE DE MVT	PERIODIQUE	X-
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	CHRONOMETRE	

A. KAUFMANN

MATIERE	METAL	
FORME	BILLE	
CAUSE	PESANTEUR	
LIAISON	ROUE	
TYPE DE MVT	VIBRATOIRE	X-
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	CHRONOMETRE	

MATIERE	METAL	
FORME	BILLE	
CAUSE	FORCE	X-
LIAISON	ROUE	
TYPE DE MVT	VIBRATOIRE	
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	CHRONOMETRE	

MATIERE	METAL	
FORME	CYLINDRE	X-
CAUSE	FORCE	
LIAISON	ROUE	
TYPE DE MVT	VIBRATOIRE	
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	CHRONOMETRE	

MATIERE	METAL	
FORME	CYLINDRE	
CAUSE	FORCE	
LIAISON	ROUE	
TYPE DE MVT	PERIODIQUE	X-
TRAJECTOIRE	DROITE	
MILIEU	VIDE	
CONTROLE	CHRONOMETRE	

BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie ne concerne pas l'Imagination Artificielle mais des domaines voisins où l'auteur a trouvé des idées.

- [B1] BARBAUD (Pierre). *La Musique, discipline scientifique*. Ed. Dunod.
 [B2] BARBAUD (Pierre). *La Composition musicale automatique*. Ed. Dunod.
 [B3] BESSE (A.) et autres auteurs. *Le Capital Imagination (Brainstorming)*. Entre-prise Moderne d'Édition.
 [D1] DREVET (Annick). *Méthodologie des démarches créatrices de la Science*. Thèse Dr., 3^e cycle, Lyon.
 [G1] GORDON (W. J. J.). *Simulation des facultés créatrices (méthode synectique)*. Ed. Hommes et Techniques.
 [J1] JANTSCH (Erich). *La prévision technologique*. Publication O.C.D.E.
 [K1] KAUFMANN (A.). *Introduction à la Combinatoire*. Ed. Dunod.
 [K2] KAUFMANN (A.). Des Points et des Flèches, *La Théorie des graphes*. Ed. Dunod.
 [M1] MOLES (A. A.). *Sociologie de la Culture*. Ed. Mouton.
 [N1] NADOR (György). L'importance de la doctrine heuristique de Descartes dans l'histoire de la Science. *Dialectica*, n° 15, 3, 1962.
 [Z1] ZWICKY (F.). *Morphological Astronomy*. Ed. Springer Verlag.
 [Z2] ZWICKY (F.). *Morphology of Propulsive Power*. Ed. Society for Morphological Research, Pasadena Cal., U.S.A.
 [Z3] ZWICKY (F.) et WILSON (A. G.). *New Methods of Thought and Procedure*. Ed. Springer Verlag.