



## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

#### Vers une évaluation de la capacité de déduction logique dans un système multimédia d'enseignement Le système IMAGO

Matelart, Marc

*Award date:*  
1980

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

ANNEE ACADEMIQUE 1979 - 1980

VERS UNE EVALUATION DE LA CAPACITE  
DE DEDUCTION LOGIQUE DANS UN SYS-  
TEME MULTIMEDIA D'ENSEIGNEMENT -  
LE SYSTEME IMAGO.

Mémoire présenté pour l'obtention du grade  
de Licencié et Maître en Sciences Informatiques  
par :

MATELART Marc.



LBS 3590694

77169

L'homme est un animal qui, au lieu de se contenter de s'adapter à son milieu, modifie gratuitement le milieu pour pouvoir s'y adapter autrement. D'où tous les tourments que nous nous imposons, d'immenses problèmes, mais aussi tout ce qui stimule, excite, agrandit le domaine de l'action de l'homme.

PAUL VALERY

cité par A. KAUFMANN dans "Modèles mathématiques pour la stimulation inventive", Editions Albin Michel, 1979.

Je tiens à exprimer mes remerciements à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

A J. BERLEUR qui a accepté de le diriger et dont les suggestions ont toujours été très précises.

A J. FICHEFET qui a suivi pas à pas ce travail et dont les conseils judicieux m'ont été précieux.

A A. JONES dont les travaux ont initié cette recherche et avec qui j'ai eu de fructueuses et encourageantes discussions, à divers stades de ce travail.

## INTRODUCTION

Un langage nouveau, celui de l'informatique, peut renouveler le langage scolaire et le langage universitaire.

La conception de la pédagogie peut être modifiée par les banques de données et les systèmes d'enseignement assisté par ordinateur, qui rendent possibles des modes nouveaux d'acquisition des connaissances.

L'enseignement assisté par ordinateur n'est plus une terre en friche; de nombreuses expériences ont été développées principalement aux Etats-Unis. Ce sont ces expériences que nous analysons avec un regard critique dans le premier chapitre.

Le système IMAGO (système d'enseignement multimedia assisté et géré par ordinateur) vise plus qu'une individualisation de l'enseignement en personnalisant celui-ci afin de fournir à l'étudiant le cours multimedia le mieux adapté à son état. Le chapitre 2 permettra de se familiariser avec cette philosophie particulière.

Le choix d'un tel enseignement repose sur l'évaluation de certaines aptitudes jugées caractéristiques de l'étudiant. Dans ce contexte, nous tentons au chapitre 3 de définir un outil permettant l'évaluation de l'une de celles-ci - la capacité de déduction logique.

Enfin, nous terminons en proposant quelques extensions possibles et souhaitables si l'on veut donner à cet outil une valeur réelle.

## CHAPITRE 1 : L'ordinateur comme moyen d'enseignement.

1. Introduction.
  11. Le contexte Nord-Américain.
  12. Vingt-cinq années d'expérience.
  
2. Les caractéristiques d'enseignement.
  21. Le didacticiel.
  22. Ecrire un didacticiel.
  23. Les modes d'utilisation.
    231. Le mode tutoriel.
    232. Les questions-réponses (Drill and Practice).
    233. La résolution du problème ou "Problem Solving".
    234. La simulation et les études de cas.
  24. Mesurer l'efficacité.
  25. Assurer sa transférabilité.
  26. Le rôle et la place des enseignants.
  
3. Les moyens techniques.
  31. Quelques explications techniques.
  32. Un large choix technique.
  33. Les différents choix.
    331. Réseau d'ordinateurs répartis.
    332. Ordinateur centralisé.
    333. Mini-ordinateur à réseau moyen (100 à 50 terminaux).
    334. Mini-ordinateur spécialisé (50 à 2 terminaux).
    335. Micro-ordinateur.
  
4. Analyse critique de certains projets américains d'E.A.O.
  41. Remarques préliminaires.
  42. Le système Plato.
  43. Le système Ticcit.
  44. C.C.C.
  45. Une première conclusion.
  
5. Le futur : où en sera l'E.A.O. en 1990 ?

## 1. Introduction.

L'enseignement assisté par ordinateur a déjà une longue histoire derrière lui. Force nous est de constater qu'il n'a pas réussi à faire la percée que d'aucuns prévoyaient : peu de projets sont vraiment opérationnels et moins encore ont fourni des résultats probants suffisamment décisifs pour qu'il soit possible d'adopter à son égard une position définitive et unanime.

A l'enthousiasme des uns s'oppose l'hostilité des autres si bien qu'il n'y a de place que pour ... l'hésitation. Et cependant ... l'ordinateur est une réalité dont nous expérimentons journallement la présence; le monde de l'enseignement est engagé dans une mutation sans précédent qui ne peut que faire appel aux nouveaux outils d'information et de communication; tous les efforts engagés jusqu'ici pour faire de l'ordinateur un moyen d'enseignement n'ont pas abouti à cette révolution pédagogique que chacun pressent et dont on ne voit pas encore très bien les effets.

Le départ foudroyant et l'extension très rapide qu'a connu l'E.A.O.<sup>(1)</sup> peut s'expliquer par sa situation au carrefour d'intérêts relevant de disciplines très variées.

Il y eut d'abord les informaticiens en quête d'applications nouvelles offertes par les possibilités toutes récentes du télétraitement, des télécommunications, le temps partagé et plus généralement les dialogues interactifs au niveau des terminaux; informaticiens largement soutenus par l'industrie de l'informatique pour qui il ne peut y avoir de "secteur réservé" où l'ordinateur n'aurait pas droit de cité. A ceux-ci se sont joints des pédagogues qui, déçus par les contraintes et les limites de l'enseignement programmé (M. DE MONTMOLLIN, 1971) désiraient posséder un outil capable de dialoguer véritablement avec l'élève. A ces deux groupes se sont ajoutés les psychologues soucieux de traduire dans la réalité des situations d'enseignement des modèles d'apprentissage restés jusqu'alors en labo-

---

(1) E.A.O. : Enseignement Assisté par Ordinateur (en anglais, C.A.I. : Computer Assisted Instruction).

boratoire et de l'autre par des cybernéticiens intéressés aux problèmes relatifs à l'intelligence artificielle.

Il n'y a donc rien d'étonnant si dans ces conditions, on a assisté à une extension très rapide des expériences d'enseignement assisté par ordinateur.

### 11. Le contexte Nord-Américain.

Les premières expériences d'E.A.O. nous viennent des Etats-Unis. Le contexte éducatif et industriel américain les a fort influencés. Il est donc important d'analyser ce contexte afin de comprendre les options choisies et l'état actuel de l'E.A.O.

Le système éducatif américain est différent du nôtre. Il semble, en effet, plus attaché à apprendre des connaissances qu'à privilégier une formation générale. Une preuve de cette orientation nous est fournie par l'étude des examens. Ils s'attachent à vérifier les connaissances acquises plutôt que les capacités de raisonnement et de présentation des élèves. Depuis longtemps, les tests et examens américains sont de type multichoix (quiz). A une question précise, plusieurs solutions sont proposées. L'élève coche sa réponse. Cette méthode permet des corrections faciles à implémenter sur ordinateur et des temps de réponse très courts. Elle a le défaut de ne pas tenir compte des qualités et de la personnalité de l'individu, de masquer les difficultés de progression de l'élève et d'entraîner des manques dans la réflexion et la rédaction nécessaires à des analyses et des synthèses.

Des liens étroits sont établis entre les universités et le secteur privé dans les recherches de pointe. Cette étroite imbrication va jusqu'à la promotion commerciale par des sociétés privées d'informatique de systèmes développés à grands frais sur des fonds publics. *PLATO* est maintenant diffusé par CONTROL DATA CORPORATION et *TICCIT* par HAZELTINE CORPORATION. Cela s'explique à la fois par la construction de matériel spécialisé en grande quantité et l'utilisation marginale d'un réseau de vente. Ces deux possibilités ne sauraient se trouver dans une université.

## 12. Vingt-cinq années d'expérience.

Un rapide historique permettra de mieux comprendre la situation actuelle de l'E.A.O. Avec un décalage dans le temps et des variations nationales, l'histoire européenne de l'E.A.O. est sensiblement la même que celle qui s'est déroulée aux Etats-Unis.

Une étude détaillée a été faite par Patrick SUPPES et Elisabeth MARCKEN dans un numéro spécial de "Educational Technology" (SUPPES, P., 1978). En plus de mentionner quelques projets parmi les plus importants, les auteurs proposent une liste aussi variée que complète de références d'articles intéressants traitant de certains aspects particuliers de l'E.A.O.

Dès la fin des années 50, les constructeurs de matériel informatique formaient leur personnel directement sur machine. Les compagnies aériennes et les constructeurs d'avions ont développé des simulateurs de vol. Les premières utilisations réellement didacticielles de l'ordinateur remontent au début des années 60 avec trois projets pionniers :

- a) le système PLATO (*Program Logic for Automated Teaching Operation*) du professeur Donald BITZER à l'Université d'Illinois (Urbana-Champaign);
- b) les travaux du professeur Patrick SUPPES et Richard ATKINSON à l'Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences de l'Université de Standford en Californie;
- c) le système TICCIT (*Time Shared, Interactive, Computer-Controlled, Information, Television*) développé par MITRE CORPORATION et l'Université Birgham Young (Utah) avec les professeurs John VOLK et Vic BURDESON.

De son côté, une société privée, la CURRICULUM COMPUTER CORPORATION (C.C.C) développait des ensembles de questions-réponses dans les matières de base (lecture, écriture et calcul) à partir des travaux du professeur P. SUPPES en vue de satisfaire les programmes en faveur des populations défavorisées, décidés sous l'administration JOHNSON (Elementary-Secondary Education Act en 1965).

L'E.A.O. a surtout démarré dans les secteurs de recherche où l'utilisation de l'ordinateur était courante (mathématique, physique). La connaissance de l'in-

formatique était un adjuvant nécessaire. Les professeurs ont ainsi pensé à implémenter un cours et des explications sur ordinateur pour compléter et améliorer leur enseignement. De nouveaux champs se sont ensuite ouverts vers la chimie, les langues étrangères, les sciences médicales, la grammaire, le vocabulaire et l'acquisition de la langue maternelle.

Mais la plupart des didacticiels restent des ensembles de questions-réponses (en anglais, *DRILL and PRACTICE*) avec cotation permettant un contrôle immédiat des connaissances par le professeur. L'élève connaît également ses notes, ce qui augmente sa responsabilité. La séance commence par une introduction du concept et quelques exercices de révision. Quelquefois, l'élève peut demander une aide et un rappel théorique imagé par des exemples simples.

Les utilisateurs du didacticiel sont bien sûr très variés, allant d'élèves infirmières à des enfants handicapés. L'imagination et l'innovation ont été très vives. L'édition, en 1978, par une société de service spécialisée en E.A.O., WANG LABORATORIES INC., d'un catalogue général de didacticiels contient la description de 2 997 cours disponibles dans 341 institutions de tout niveau.

Un pas décisif a été franchi par le constructeur C.D.C. qui affronte réellement le marché avec *PLATO* sans subvention. Il place son matériel, fait sa promotion par de la publicité à la télévision américaine et annonce la remise d'un diplôme à toute personne ayant suivi les cours.

Les gros constructeurs comme I.B.M. révisent leur politique d'attente et les fonds de recherche distribués par les organismes fédéraux marquent une tendance à la reprise après une presque interruption en 1977.

D'autre part, devant l'envahissement des micro-ordinateurs à la maison, - déjà 2 500 000 achetés par des particuliers aux Etats-Unis en 1978-79 -, les éditeurs de livres commencent à prospecter le marché, car il faudra bien doter ces ordinateurs petits mais puissants de programmes de jeux, cours, etc. De plus, les parents sont prêts à faire de gros efforts financiers pour donner toutes les chances à leurs enfants.

Afin de mieux comprendre les problèmes rencontrés par l'E.A.O., nous allons étudier les logiciels d'enseignement et les problèmes liés à leur extension et ce, sans oublier le rôle et la place des enseignants. En énumérant les solu-

tions que nous offre la technique, nous analyserons leur aptitude à résoudre ces problèmes.

Nous terminerons par l'analyse critique des projets américains d'E.A.O. les plus marquants et par les prévisions futuristes de certains spécialistes de la question.

## 2. *Les caractéristiques d'enseignement.*

Le peu d'impact de l'E.A.O. dans les années 70 peut se justifier par la faible participation des enseignants (HOUSE, E.R., 1974). Pour avoir des chances de s'imposer, les innovations pédagogiques doivent être prises en main par les enseignants eux-mêmes.

### 21. Le didacticiel.

Le didacticiel (en anglais, *COURSEWARE*) est le logiciel d'enseignement disponible sur un ensemble informatique. Constitué par des programmes interactifs, le déroulement des séquences du dialogue peut être modifié par les réponses de l'utilisateur. Le programme est écrit généralement par un professeur qui en assure la documentation et la maintenance. L'appel du programme déclenche une suite de questions-réponses permettant de vérifier la compréhension et l'avancement de l'élève.

Deux exemples (SUPPES, P., 1978) :

La société C.C.C. fournit aux écoles primaires et secondaires des systèmes informatiques comprenant un mini-ordinateur et une centaine de terminaux. Le didacticiel a pour but principal d'augmenter le niveau des laissés pour compte (émigrés récents, cas sociaux) en proposant des programmes d'exercices répétitifs d'opérations arithmétiques, de compréhension et définition de mots pour augmenter le vocabulaire. Le professeur recommande à ses élèves les exercices en liaison avec son cours. L'ordinateur est un "répétiteur" très élémentaire mais patient.

A l'Université de Standford, l'IMSSS a développé sur mini-ordinateur des programmes destinés à des étudiants doués et curieux. Ces élèves de haut niveau ne voient

jamais le professeur et travaillent sur terminal une moyenne de 60 heures/semaine. Ainsi, à l'autre bout de l'échelle des formations, un super-étudiant trouve dans le programme interactif, des connaissances comparables à celles qu'il trouvait dans un livre spécialisé ou dans un cours magistral. L'ordinateur est alors un vrai "tuteur".

## 22. Ecrire un didacticiel.

La condition nécessaire du succès réside dans l'écriture des cours par le professeur et ceci pour plusieurs raisons : l'acceptation d'un corps étranger (l'ordinateur) doit être préparée et de plus, le coût de développement du didacticiel est énorme : au moins 100 heures de travail pour 1 heure de cours. Rapidement, les constructeurs ont développé des langages dits tutoriaux pour aider et simplifier au maximum l'écriture des didacticiels : *TUTOR* par C.D.C., *TAL* par HAZELTINE CORPORATION, *COURSEWRITER* par I.B.M., etc.

Ces langages fournissent surtout des facilités de mise en page des sorties sur écran, d'analyse des réponses, de fonctions graphiques, du suivi des performances des étudiants. D'autres constructeurs proposent seulement des langages évolués (*BASIC*, *PASCAL*) avec des sous-programmes permettant des sorties sur écran.

La gamme des outils mis à la disposition des professeurs influence la qualité et la présentation des programmes. Une des erreurs courantes est de reprendre un livre et de l'adapter sur ordinateur; l'élève tourne alors les pages.

## 23. Les modes d'utilisation.

Les types de didacticiel liés au but recherché par les auteurs ont coutume d'être rangés en quatre classes (HEBENSTREIT, J., 1979). Il faut souligner, avant tout, que les catégories énumérées, pour traditionnelles qu'elles soient aux yeux de personnes familiarisées avec les développements historiques de l'utilisation de l'ordinateur comme moyen d'enseignement, doivent être repensées en termes d'aptitudes pédagogiques mises en oeuvre plutôt qu'en termes de moyens informatiques mis en oeuvre, et qu'il est important de dépasser le stade des appellations - toujours arbitraires.

Les divers modes d'utilisation que nous allons évoquer s'adressent à des aptitudes pédagogiques différentes et complémentaires : le "DRILL and PRACTICE" développe la mémoire, la vitesse d'acquisition des concepts simples et, dans une large mesure, leur rétention; le mode dit "TUTORIAL" de présentation des travaux pratiques et des cours théoriques aide à leur compréhension, à l'établissement de transferts et d'analogies et à l'association de concepts abstraits et d'images concrètes. L'emploi des ordinateurs en mode de calcul ou de traceur de courbes peut développer les transferts et l'esprit d'analyse; les simulations et les études de cas, enfin, sont dirigées vers une perception rapide et globale d'un ensemble de concepts bien délimité et formant un tout conduisant à une vue synthétique. Voyons plus en détail.

### 231. Le mode tutoriel.

*Le cours commence par des définitions et des exemples et se poursuit par une suite de questions-réponses de plus en plus compliquées. En cas de grosses difficultés, l'élève peut être arrêté dans sa progression et aidé par une branche explicative avant de reprendre sa progression. Le professeur peut également très bien remplir ce rôle. Si sa compréhension est bonne, il peut sauter des exercices et des parties de cours.*

Ici, tout un savoir ou une tranche homogène d'un savoir est présenté et enseigné par ordinateur. Une illustration du mode tutoriel - une leçon du type PLATO - nous est proposée par (SHERWOOD, B.A., 1971).

### 232. Les questions-réponses (DRILL and PRACTICE).

Exemplairement illustrée et mise en pratique dans le cadre du projet du professeur SUPPES (SUPPES, P., 1978) à Standford, ce fut, jusqu'à l'aube des années 70, une des formes les plus répandues de l'utilisation des ordinateurs comme moyen d'enseignement.

*Il s'agit, avant tout, de proposer aux élèves un ensemble ordonné d'exercices simples dans le but pratique de manipulation et de familiarisation avec des concepts élémentaires et rapidement assimilables.*

Sur le terminal, un exercice correspond à une ligne de texte dans laquelle un ou plusieurs blancs correspondent à la réponse que l'élève doit donner. Si la

réponse est bonne, on passe à la question suivante. Si elle est mauvaise, on lui demande de recommencer. Dans le cas d'une nouvelle erreur, on indique la "bonne" réponse et on passe à l'exercice suivant. Le score obtenu et le temps mis par l'élève pour une série donnée d'exercices sont deux indications du niveau de connaissance de ceux-ci. L'avantage de l'ordinateur apparaît pleinement dans des méthodes répétitives. A l'inverse d'une personne humaine, il est d'une patience parfaite.

### 233. La résolution du problème ou "PROBLEM SOLVING".

Dans cette forme d'utilisation, on fait surtout appel aux possibilités de calcul des ordinateurs. Ainsi, la solution d'équations différentielles est-elle matérialisée sur un écran cathodique sous forme de courbes, ou bien la transmission génétique concrétisée par des dessins de mouches dont la descendance a des caractéristiques qui se modifient à vue d'oeil sur l'écran au gré des filiations. Les solutions de problèmes constituent une des formes les plus créatives de cette forme d'utilisation.

*Ces techniques consistent à décomposer en un certain nombre d'étapes successivement analysées et corrigées les solutions que l'élève doit donner. L'élève passe ainsi de réponses simples à des questions directes, à des constructions de plus en plus complexes, qui feront appel à son esprit d'analyse et de synthèse.*

De tels programmes sont, bien sûr, extrêmement difficiles et coûteux à mettre en oeuvre, mais ils sont intéressants en ce sens qu'ils développent énormément chez l'étudiant la créativité et le goût pour la recherche et l'analyse.

### 234. La simulation et les études de cas.

*Ce mode d'utilisation fait surtout appel aux capacités logiques des ordinateurs et, dans une moindre mesure, à leur capacité de calcul. On simule des cas réels sur ordinateur, et les implications des décisions prises par l'élève sont discutées et mises en valeur.*

Les travaux français menés à OFRATÉME en enseignement médical assisté par ordinateur vont dans ce sens (BLONDEL, F.M. et SALAME, N., 1975). Le problème diagnostique qui a fait l'objet d'une modélisation est d'établir un raisonnement logique à partir d'un symptôme fréquent : l'anémie.

Le système ESPACE (*Ensemble de Sous-systèmes Pédagogiques d'Assistance à la Conception en Electro-technique*), opérationnel depuis 1974, en est également une application réussie (BOLOPION, 1974).

"The simulation format may be the only economical way of presenting some instruction. Furthermore, in light of the "knowledge explosion" simulations may be much more effective than traditional learning, because they allow learners to deal with new situations and to apply various steps in decision-making and in open-ended problem-solving" (MAGIDSON, E.M., 1976).

Ce mode d'utilisation d'usage assez récent semble néanmoins un des plus prometteurs. Il existe au moins trois manières différentes d'utiliser ce mode (HEBENSTREIT, J., 1979).

a) La première manière est du genre "découverte guidée".

Un modèle est entré dans l'ordinateur et l'étudiant doit découvrir, par des expériences simulées, les relations entre les entrées et les sorties du modèle (découvrir une loi physique, la maladie d'un patient simulé, etc.).

b) La deuxième manière est du type "acquisition d'expérience".

Un étudiant peut faire varier un paramètre du modèle et obtenir une réponse instantanée. Les calculs nécessaires à cette réponse sont pris en charge par l'ordinateur.

c) La troisième manière consiste à présenter un phénomène naturel

à un étudiant en lui demandant, par expérimentation réelle, d'en construire un modèle qui pourra, une fois programmé, être testé intensivement afin d'en contrôler le domaine de validité.

#### 24. Mesurer l'efficacité.

Le contrôle de la qualité du didacticiel d'un point de vue éducatif et de son efficacité sont les instruments nécessaires à son amélioration.

Il y a trois façons de l'envisager :

a) Un contrôle interne par examen des dialogues, la mise en évidence des points de blocage, la mesure des taux de réponses erronées permettent une amélioration

constante du produit. Contrairement à un livre, le didacticiel ne reste pas statique, l'utilisation le fait continuellement évoluer (d'où l'importance de possibilité d'adaptation). L'ordinateur est aussi un collecteur d'informations avec une mémoire et des programmes d'analyse. Il faut en profiter et prévoir ces tâches en même temps que le cours lui-même.

- b) Le contrôle externe peut se résumer à une seule question. Combien cela coûte-t-il et quels sont les résultats escomptés ? La démarche est alors différente. Il faut que le cours ait un but précis et qu'une stratégie d'expérimentation soit définie. Par exemple : des tests préalablement définis entre deux classes "semblables", l'une utilisant l'E.A.O. et l'autre les méthodes classiques. Les expériences d'E.A.O. jusqu'ici les mieux engagées indiquent d'ores et déjà que certains bénéfices peuvent être envisagés - étant bien entendu là aussi que les directions ainsi esquissées nécessitent des recherches approfondies aux fins de savoir si, de fait, ces bénéfices sont réels et ne sont pas le produit de circonstances particulièrement avantageuses.

Dès 1972, le groupe chargé d'étudier la question de l'E.A.O. en Suisse concluait par un premier inventaire des bénéfices escomptables :

- "(i) L'enseignement assisté par ordinateur devrait permettre aux élèves de traiter des problèmes dans le cadre de systèmes ayant un degré de complexité proche de la pratique (sciences naturelles, gestion d'entreprise, médecine, etc.).
- (ii) La possibilité de contrôle permanent du processus d'apprentissage augmenterait en retour l'efficacité de l'enseignement.
- (iii) L'enseignement assisté par ordinateur permettrait à un degré élevé un échange d'informations entre l'élève et le domaine enseigné; l'élève étudie de façon active des situations concrètes plus fréquemment que ce n'est le cas lorsqu'il apprend passivement la matière enseignée.
- (iv) L'enseignement assisté par ordinateur permettrait à l'élève de maintenir le rythme d'étude individuel et de travailler sans être pressé ni retardé par le temps.
- (v) Les programmes d'enseignement assisté par ordinateur présenteraient une grande souplesse au point de vue du moment et du lieu de leur utilisation.

- (vi) Les programmes de l'enseignement assisté par ordinateur pourraient être évalués de façon sûre et permettraient ainsi une révision systématique et optimale des curricula.
- (vii) Ces programmes favoriseraient l'interrogation et la recherche chez l'élève, qui ne craindra pas de poser des questions incorrectes".

Les conclusions d'études comparant l'efficacité de l'E.A.O. et de l'enseignement traditionnel sont contradictoires mais généralement concluent que l'E.A.O. est aussi efficace (45 %) et plus efficace (55 %) que l'enseignement traditionnel (KULIK, J.A. and JAKSA, P., 1977).

Ces études montrent qu'un enseignement assisté par ordinateur demande moins de temps. Il est important de rappeler que la plupart des études comparent uniquement les formes tutorielle et "DRILL AND PRACTICE" de l'E.A.O. à l'enseignement de type traditionnel. Cette comparaison reste souvent hasardeuse car l'E.A.O. est utilisé comme complément de l'enseignement traditionnel et non en substitution à celui-ci.

- c) Une autre évaluation doit être faite par rapport à d'autres moyens techniques. A notre connaissance, seul IMAGO (INSTRUCTION MULTIMEDIA ASSISTE ET GERE PAR ORDINATEUR) propose les outils de cette évaluation. Ils seront développés dans le chapitre 2.

## 25. Assurer sa transférabilité.

Une question essentielle est la distribution des didacticiels, c'est-à-dire leur transférabilité, leurs droits d'utilisation, leur protection, en un mot leur développement pratique et économique. Des organismes américains ont mis en place des solutions élégantes et efficaces.

Le MECC (Minnesota Educational Computing Consortium) met à la disposition des enseignants une librairie de programmes didactiques. Elle contient 1 000 programmes certifiés pour les écoles, lycées et universités. Ils sont écrits soit par le MECC, soit par les utilisateurs. Une autre librairie répartie entre les utilisateurs permet de développer de nouveaux didacticiels. Après un examen fait par le MECC, ils peuvent être admis dans la librairie des programmes didactiques. La concurrence a un effet positif sur la qualité des didacticiels.

Une autre voie est choisie par EDUNET qui regroupe sur un réseau d'ordinateurs de taille et de marque différentes un catalogue de didacticiels. L'entrée dans le réseau et l'interrogation par mot clé donne la location du programme. On paye alors son utilisation et les coûts de liaison.

CONDUIT (dans l'état d'Iowa) est surtout spécialisé dans le didacticiel pour micro-ordinateur. En plus de vendre des produits, il conseille les auteurs et fournit des règles pour une écriture la plus standard possible des didacticiels en BASIC, permettant un rapide passage d'un micro-ordinateur à un autre.

## 26. Le rôle et la place des enseignants.

"On entend parfois prétendre que l'ordinateur remplacera l'enseignant ou du moins allègera sa tâche. Jamais l'ordinateur n'a allégé la tâche de ceux qui ont eu recours à lui, non du fait de la programmation mais bien du temps pris par l'analyse des contenus. Ce qui est vrai, c'est qu'au contraire, tout en augmentant la quantité de travail, l'ordinateur est surtout la cause d'une modification du type d'activité des personnes. De transmetteur d'informations qu'il est surtout dans le système classique, l'enseignant devient plus critique par rapport à son propre enseignement, il devient un analyste de sa propre matière" (JONES, A., 1975). Soulignons que les enseignants détiennent une des clés de la réussite.

Quels sont les effets, directs et indirects, de l'enseignement assisté par ordinateur sur les enseignants amenés à participer à de telles expériences ?

Il importe de mettre l'accent sur les contraintes et les avantages d'un emploi "réfléchi" de l'ordinateur comme moyen d'enseignement. Les unes ne peuvent être satisfaites et les autres obtenues que si l'expérience concernée obtient le concours plein et entier des enseignants intéressés. C'est d'ailleurs ce que l'on constate en analysant les raisons du succès de certains projets : en fait, non seulement cette coopération se révèle indispensable, mais encore elle se montre bénéfique pour les enseignants eux-même qui y trouvent l'occasion et le terrain d'une réflexion pédagogique expérimentale.

Deux points, à ce propos, méritent d'être soulignés :

(i) Le cadre de travail a un caractère inter-disciplinaire : non seulement les

enseignants participant au projet sont amenés à agir ensemble avec des informaticiens et des psycho-pédagogues mais, l'expérience le prouve, ils font la rencontre de spécialistes d'autres disciplines : le projet allant s'élargissant, des groupes d'enseignement d'autres disciplines vont coopérer. L'interdisciplinarité devient ici un fait.

- (ii) La participation des enseignants doit être préparée : elle peut et doit être un moyen d'un recyclage et d'un perfectionnement pédagogique intéressant, non seulement des universitaires impliqués directement ou indirectement dans l'expérience, mais aussi des enseignants d'autres niveaux d'enseignement. En cela, il y a rupture d'un cloisonnement souvent préjudiciable aux ordres d'enseignement : le professeur de physique du secondaire qui s'intéresse à la rénovation de son enseignement ne peut trouver que des avantages à coopérer avec des personnes d'autres niveaux et origines animées des mêmes intentions.

### 3. Les moyens techniques.

L'évolution des didacticiels est une des clés de la réussite, l'évolution du matériel et des télécommunications est une autre clé de la réussite de l'introduction des ordinateurs à l'école, inévitablement liée à la baisse des prix.

#### 31. Quelques explications techniques.

Le matériel nécessaire à l'enseignement assisté par ordinateur est en gros de deux sortes : un terminal relié à un ordinateur ou un micro-ordinateur personnel. Un micro-ordinateur peut également être utilisé comme terminal d'un ordinateur. La caractéristique principale du matériel est qu'il doit être *interactif*, c'est-à-dire qu'il reçoit des questions et qu'il est invité à y répondre. L'étudiant a donc la possibilité d'étudier et d'apprendre sur un matériel appelé *poste d'apprentissage* ou *terminal*. Il comprend au moins une unité d'entrée et une unité de sortie.

La configuration classique est composée d'un écran et d'un clavier de machine à écrire. L'unité de sortie type est l'écran; l'écran peut être de différentes sortes :

- un écran avec tube cathodique comme les écrans commerciaux de télévision (micro-ordinateur TRS 80 PET COMMODORE, Système CCC) de faible résolution;
- un écran de télévision en couleurs (TICCIT, APPLE II, TERAK) donnant des possibilités graphiques intéressantes;
- un écran à plasma (utilisé par PLATO);
- un écran graphique permettant la sortie sur des courbes.

L'intérêt du poste de télévision réside dans son prix très bas et surtout dans ses possibilités de connexion avec des vidéo-bandes. D'autres unités de sorties peuvent être ajoutées :

- un projecteur de diapositives (PLATO);
- un synthétiseur de la parole (PLATO et APPLE II);
- une imprimante papier, etc.

La principale unité d'entrée est le clavier classique avec éventuellement des touches particulières permettant un meilleur contrôle du dialogue. Pour accélérer et rendre plus agréable la réponse, d'autres moyens d'entrée ont été développés :

- écran tactile (PLATO);
- marqueur lumineux, etc.

C'est dans l'unité d'entrée que l'innovation et l'ingéniosité sont les plus nécessaires car un moyen plaisant à l'étudiant sera une condition de succès. Peut-être faudra-t-il attendre la reconnaissance de la voix humaine.

### 32. Un large choix technique.

Dans son article, "Machines for Computer Assisted Learning", A. BORK donne une liste de cinq configurations possibles reliant un ou plusieurs des postes d'apprentissage à un ou plusieurs ordinateurs :

- un gros système en temps partagé (plusieurs centaines de postes comme PLATO);
- un moyen système en temps partagé de 50 à 100 postes (TICCIT ou CCC);
- un petit système en temps partagé de 2 à 50 étudiants (IMSSS de Standford et IMAGO);

- un poste personnel ou micro-ordinateur avec possibilité d'accès à un ordinateur (nouveau système PLATO et MECC);
- un poste personnel ou micro-ordinateur (APPLE II, TERAK, nouveau système IMAGO).

Ajoutons un autre type, l'accès à partir d'un terminal à un groupe d'ordinateurs différents par l'intermédiaire d'un réseau câblé.

### 33. Les différents choix.

Les moyens disponibles offerts par la technique informatique sont extrêmement variés. A des besoins sensiblement équivalents correspondent des solutions tenant compte des possibilités financières qui fixent toujours les possibilités en matériel et en hommes.

#### 331. Réseau d'ordinateurs répartis.

Le réseau EDUNET est un réseau U.S.A. inter-universités de type maillé. L'idée principale de la commercialisation du réseau repose sur le fait que les coûts en matériel de calcul et de télécommunications diminuent tandis que ceux du développement de logiciel augmentent. La meilleure solution est alors de connaître les logiciels et leurs caractéristiques disponibles sur le marché, pour éviter de les réécrire. En fait, seul un réseau peut permettre un vaste marché de logiciels venant des constructeurs, des universités et des entreprises privées. Un logiciel de qualité médiocre sera très rapidement "attaqué" par un nouveau et rapidement remplacé sur le réseau. Sa réputation sera rapidement faite parmi les utilisateurs. D'autre part, les produits des constructeurs et la qualité des machines seront également jugés pour les compilateurs, les gestions de fichiers et les systèmes d'exploitation. Chacun peut utiliser la machine de la marque qu'il trouve la mieux adaptée à ses besoins.

Les avantages d'un réseau câblé sont multiples :

- accès à des ordinateurs de marque différente;
- vaste choix de programmes et d'applications. Ceci évite de réécrire un programme qui existe déjà;
- les programmes mal écrits seront éliminés et remplacés car ils ne seront pas utilisés et d'autres versions seront proposées;

- la panne d'un ordinateur n'arrête pas forcément le travail en cours, on peut en utiliser un autre;
- une panne sur une ligne de téléphone n'arrête pas le travail, car il y a plusieurs chemins possibles pour joindre l'ordinateur demandé;
- l'utilisation des programmes peut rémunérer les auteurs en leur offrant une vaste clientèle.

Les principaux désavantages sont le coût des télécommunications, car le programme s'exécute sur le site de son implantation et les transferts des fichiers données et de programmes d'une machine à une autre sont souvent délicats.

Le réseau est un moyen très puissant pour échanger des informations et communiquer avec d'autres utilisateurs par le courrier électronique. Par l'accès à un réseau puissant, on est dans l'actualité des logiciels et des didacticiels.

### 332. Ordinateur centralisé.

Le système *PLATO* de *CDC* est un réseau centralisé en étoile. Un millier de postes d'enseignement sont reliés par ligne téléphonique à un ordinateur de la série *CYBER* associé à une mémoire rapide considérable. Tout le didacticiel est donc stocké sur le site central. Les avantages et désavantages d'une telle configuration sont nombreux. Un système de cette importance doit être partagé entre plusieurs institutions ou à des grosses sociétés, car le prix d'exploitation est énorme.

*CDC* pour commercialiser ce produit, soit s'adresse à des sociétés ayant des besoins de formation permanente (deux systèmes privés chez United Airlines et American Airlines), soit fournit dans ses bureaux un libre service de postes d'enseignement disponibles aux moyennes et petites entreprises (50 centres aux U.S.A.).

Le grand désavantage d'un tel système est qu'une panne de machine bloque tous les utilisateurs et que pendant les périodes de grande charge, les temps de réponse ont de fortes tendances à s'allonger, quelquefois de façon désastreuse. De plus, les coûts en télécommunication sont importants car il faut rester en ligne pendant toute la session, alors que les échanges proprement dits d'information sont très faibles. Pour pallier ces désavantages, *CDC* développe avec les universités un terminal qui sera également un micro-ordinateur pouvant travailler dans les deux modes, local et en ligne. Au début de la session, le didacticiel sera chargé

à partir de la bibliothèque centrale, recopié sur un disque et exécuté localement.

Le principal avantage est que toute modification et amélioration d'un programme profitent immédiatement à tous les postes et que l'on est toujours sûr d'avoir le dernier état des systèmes d'exploitation et d'enseignement.

Un choix très vaste est offert et les professeurs peuvent écrire des cours pour des besoins locaux ou généraux, permettant ainsi de rentabiliser leur travail par des droits d'auteur. Ce réseau donne également un moyen d'échange d'informations entre les utilisateurs par un système de courrier et de messages.

### 333. Mini-ordinateur à réseau moyen (100 à 50 terminaux).

Deux systèmes illustrent bien cette catégorie : C.C.C. pour les écoles et lycées et *TICCIT* pour les universités. Un mini-ordinateur de la classe PDP-11 dirige une centaine de postes répartis localement. Le système est alors loué ou acheté par une seule institution et le logiciel est entièrement fourni par le constructeur.

Si l'ordinateur tombe en panne, tout le travail est arrêté, mais il ne dérange que les personnes présentes. Le nombre réduit de terminaux permet de mieux contrôler les temps de réponse. Une bonne fiabilité des didacticiels et du matériel est nécessaire car ces ensembles sont dispersés géographiquement et les frais de maintenance prévus dans les contrats peuvent devenir prohibitifs, en cas de panne abusive, car tout l'enseignement est perturbé.

### 334. Mini-ordinateur spécialisé (50 à 2 terminaux).

Certaines applications d'enseignement demandent des terminaux spécialisés qui ont besoin de ressources importantes en logiciel et matériel pour la commande de terminaux spécialisés (écran cathodique, synthétiseur de parole, vidéo-bande, etc.).

Le professeur BORK d'Irvine exploite toutes les possibilités graphiques des *TEKTRONIX* pour des cours de physique. La fonction graphique est d'une importance primordiale pour la représentation des phénomènes physiques, comme les orbites des corps dans des espaces de gravité, et le tracé de courbes mathématiques. Les programmes peuvent être très sophistiqués et importants, car ces mini-ordinateurs sont puissants, rapides et disposent de mémoire de masse à accès aléatoire.

335. Micro-ordinateur.

C'est la solution individuelle par excellence. S'il tombe en panne, une seule personne est dérangée dans son travail. Ils sont donc d'un emploi très com- mode. Leur prix les rend très attrayants, mais ceci est trompeur car pour faire et obtenir du travail intéressant, il faut des supports de masse (disquettes ou lecteurs de cassettes) et un logiciel dont le coût est assez indépendant de la puissance de l'ordinateur. Pour sauver son travail et le retrouver, il est néces- saire de le sauvegarder. D'autre part, il est intéressant d'obtenir des program- mes venant de l'extérieur, soit par échange, soit par achat.

La grande variété des micro-ordinateurs rend la transférabilité des di- dacticiels difficile. Des organismes comme *CONDUIT* essaient de remédier à ce défaut de communication en conseillant une écriture standard (par exemple *BASIC*). La liaison de micro-ordinateurs avec un réseau centralisé comme celui de *MECC* per- met les deux modes de travail :

- un échange d'informations de programme par l'intermédiaire du réseau;
- un travail local indépendant et personnel.

Les programmes développés sur micro-ordinateurs sont à l'heure actuelle très élémentaires et limités par la taille des mémoires rapides. Il faut donc écrire des programmes d'enseignement courts ou des simulations assez simplifiées.

## LOCAL OU EN LIGNE.

Il est rapidement apparu que l'utilisation des micro-ordinateurs sera limitée par la distribution du didacticiel.

Une personne installée à un micro-ordinateur est *localement* isolée. Vu l'aspect figé de sa petite bibliothèque locale, elle voudra rapidement communiquer avec d'autres personnes. Bien sûr, elle peut acheter des nouveaux produits à des organismes de distribution (*CONDUIT*), mais il manquera toujours la liaison immé- diate et l'échange direct pour tester et obtenir immédiatement l'avis d'autres personnes. Dans l'enseignement, le choix des programmes risque d'être étriqué, sans aucune critique de la qualité par manque de diversité. Le seul moyen d'évi- ter un engourdissement est de profiter des capacités d'un niveau de communication et d'échange.

*En ligne*, on a la possibilité d'accéder à une bibliothèque de programmes certifiés par l'organisme centralisateur. On peut ainsi les choisir, les recopier sur disquettes. Les coûts en liaison téléphonique sont réduits au maximum. Les auteurs, par l'intermédiaire du réseau, peuvent échanger des informations, essayer et comparer les programmes en cours de réalisation, les faire évaluer dans des établissements différents du leur, choisir un programme d'enseignement dans la bibliothèque, etc.

Le projet développé par le MECC dans le Minnesota est de ce type, il est pourvu de deux bibliothèques de didacticiels destinées à l'APPLE II (une marque identique supprime les problèmes de transférabilité et de standardisation). C'est également une voie prise par CDC avec PLATO pour donner de l'autonomie au poste d'enseignement.

#### 4. *Analyse critique de certains projets américains d'E.A.O.*

##### 41. Remarques préliminaires.

Il peut être fait un mauvais usage d'un livre qui passe pour être "La Référence" de la grammaire française : "Précis de grammaire française par Maurice Grévisse" et ce, sans que soit mis en doute la qualité de ce livre.

Une attitude analogue doit être prise concernant les différents projets d'E.A.O. Dans la plupart des cas, il s'agit de réalisations ponctuelles, d'alternatives ou de compléments de cours. Il serait donc simpliste d'attendre de "statistiques trompe l'oeil" la réponse à la question : est-ce mieux ou est-ce moins bon que l'enseignement traditionnel ?

Faute d'expériences réelles et de moyens d'évaluations pertinents - mais existeront-ils un jour ? - nous devons nous contenter d'estimations dont l'intérêt reste encore à prouver. Néanmoins, un article de Donald L. ALDERMAN, Lola RHEA and Richard T. MURPHY (Alderman, 1978) essaie de répondre à la question de l'efficacité de l'E.A.O.

##### 42. Le système PLATO.

Le système d'E.A.O. PLATO est le plus sophistiqué, ancien et important

des systèmes. Pendant les dix-huit années de recherche et de développement, il a coûté dans les 20 millions de dollars.

*PLATO IV* à l'Université d'Illinois utilise un puissant ordinateur à mémoire rapide C.D.C. supportant 300 terminaux (maximum théorique 900 terminaux). 1 800 étudiants sur un total de 33 000 utilisent régulièrement *PLATO*. La société C.D.C. commercialise le système et est le premier constructeur d'ordinateurs à se lancer sur le marché de l'E.A.O.

COMMENT EST UTILISÉ *PLATO* DANS L'ENSEIGNEMENT ?

*PLATO* est surtout un complément individualisé à l'enseignement traditionnel. Prenons un exemple : l'informatique à l'Université d'Illinois. L'enseignement est divisé en trois parties :

- une heure de cours magistral où sont traitées les grandes idées;
- une heure de travaux dirigés et de discussion libre;
- une heure de *PLATO* pour vérifier les connaissances et acquérir les définitions de base.

Pendant que l'étudiant travaille sur le cours, il existe plusieurs possibilités originales d'aide :

- une commande HELP pour obtenir des connaissances supplémentaires;
- une possibilité de retour en arrière (le cours est divisé en pages visualisées sur l'écran);
- une correspondance immédiate avec un instructeur installé à un autre terminal.

L'équipement du terminal comprend : un clavier de machine à écrire, un écran tactile à plasma et un projecteur de micro-fiches. Il a en option un disque souple et un synthétiseur de voix et de musique.

Malheureusement le didacticiel est énorme et très inégal à cause de sa généralité et de ses buts universels, ce qui est un obstacle à sa diffusion. Ecrire un cours reste un exercice difficile, quelle que soit la matière de son application (de 50 à 150 heures pour une heure de cours effectuée par l'étudiant car il faut prévoir les réponses et surtout l'enchaînement nécessaire à l'efficacité). Ces cours sont écrits par les professeurs dans le langage spécialisé *TUTOR*.

Ces informations fournies par C.D.C. sur le didacticiel montrent bien le problème. C.D.C. a besoin de bons cours capables d'augmenter l'efficacité et l'image de marque de son système. Aussi propose-t-il une rémunération des auteurs

basée sur l'utilisation de leurs produits dans les systèmes. Un autre barrage se trouve être dans les prix des communications, un micro-ordinateur pouvant travailler en deux modes (terminal et usage personnel) est en développement pour économiser ce coût. Le didacticiel serait alors copié en début de session à partir de la bibliothèque centrale sur une disquette.

A la lecture du rapport de l'Educational Testing Service, l'évaluation d'efficacité de *PLATO* est difficile. Cette évaluation repose sur la comparaison de résultats à un test de connaissances portant sur un cours de type *PLATO* et un cours équivalent de type traditionnel. S'il ne semble pas y avoir d'amélioration notable, l'attitude des étudiants ayant utilisé le système *PLATO* est assez favorable vis-à-vis de celui-ci. S'ils ont apprécié le fait de pouvoir se tromper sans ressentir d'embarras, ils ont également été conquis par les commentaires utiles, les nombreux exemples et les illustrations fournis par le système.

Globalement, le système semble être intéressant dans les trois cas suivants :

- les écoles éloignées des centres et n'ayant pas sur place un professeur de la spécialité;
- la formation permanente chez les employeurs;
- la formation continue à condition d'être groupée dans un centre urbain.

#### 43. Le système TICCIT.

La société HAZELTINE commercialise le système *TICCIT*. *TICCIT* a été développé par la MITRE CORPORATION et l'Université Brigham Young (Utah) sous la direction des professeurs John VOLK et Vic BUNDERSON.

C'est en fait une voie totalement différente de celle de *PLATO*. Le matériel comprend un mini-ordinateur DATA GENERAL et des terminaux avec des écrans de télévision-couleur (au maximum 128). Le système a été testé et utilisé à MARICOPA COMMUNITY COLLEGE ALEXANDRIA (Virginia).

Trois cours de rattrapage d'entrée en Université seulement ont été écrits, deux semestres de mathématique et un de grammaire anglaise. Trois autres applications sont en cours :

- instruction des étudiants sourds à la Model Secondary School for Deaf at Gallaudet College (Washington);
- entraînement et simulation pour la marine américaine sur des systèmes d'armes sophistiquées;
- à Amherst (New York), un système *TICCIT* délivre de l'instruction et des jeux à la maison aux enfants handicapés. Une centaine de familles sont ainsi reliées à l'ordinateur.

Le poste d'apprentissage comprend un clavier et un écran de télévision couleur utilisable pour la sortie des messages et des cours et également la projection d'images et de films à partir de vidéo-bandes.

Comme ses concurrents, *TICCIT* cherche à attirer les professeurs à écrire du didacticiel. Deux langages tutoriaux sont disponibles : *APT* et *TAL*.

*APT* est un produit qui donne une approche dans la conception;

*TAL* est un nouveau langage très général comme *TUTOR* de *PLATO*.

Il faut compter entre 60 et 80 heures de travail pour une heure de cours étudiant. Le professeur est assisté dans la conception d'une leçon, mais l'écriture - ou plutôt la programmation de celle-ci - reste un exercice difficile. Des résultats comparables à ceux obtenus par *PLATO* montrent qu'il est bien difficile d'évaluer l'efficacité d'un système informatique par rapport aux méthodes classiques d'enseignement.

#### 44. C.C.C.

C.C.C. est une société privée spécialisée dans l'E.A.O. à l'école primaire et secondaire pour améliorer le niveau des élèves. L'objectif de C.C.C. est de répondre à la demande du gouvernement fédéral dans la lutte contre la pauvreté et la meilleure intégration des nouveaux émigrants.

Un autre marché est ouvert par les handicapés physiques et les désavantagés sociaux. Le système proposé est un mini-ordinateur *NOVA* de *DATA GENERAL* capable de supporter 96 postes d'enseignement et un didacticiel de 18 cours, allant des mathématiques pour les classes primaires à l'apprentissage du *BASIC* et la formation des adultes. Le cours ne remplace pas le professeur mais fournit un ensei-

ble intensif d'exercices. Le sérieux du cours et son efficacité reconnue par certains spécialistes en E.A.O. (Suppes, 1978) ont pour résultat qu'il est en service dans 24 états américains et ce malgré son prix élevé.

C'est l'exemple typique d'un cours d'E.A.O. avec un but précis et limité et une stratégie claire : la répétition systématique de questions entraînant des réponses de plus en plus difficiles. Le découpage est très modulaire et l'avancement de l'élève est facilement contrôlable par le professeur.

#### 45. Une première conclusion.

Pour cette première conclusion, nous allons reprendre la pensée de D.L. ALDERMAN, membre de la "Division of Educational Studies, Educational Testing Service", Princeton, New Jersey.

Une étude comparative entre *TICCIT* et *PLATO* a eu un impact important dans le monde de l'E.A.O., montrant qu'il est bien difficile de mesurer l'efficacité d'un système informatique par rapport aux méthodes classiques d'enseignement. Cependant, pour les élèves qui suivent entièrement le cours d'E.A.O., il faut reconnaître que les résultats sont meilleurs. Par contre, si le professeur écrit lui-même un cours, il risque de recopier un livre page par page, sans utiliser les possibilités du nouveau média. Une bonne liaison et des relations entre le cours et les exercices proposés est nécessaire. Pour cela, les concepts doivent être introduits par le professeur, repris en introduction par l'E.A.O. avant la série de questions-réponses. Dans un premier temps, il apparaît surtout que la gestion pédagogique des élèves est efficace et doit être développée. Elle dégage du temps pour le professeur et par la rapidité des contrôles guide efficacement son travail dans la classe. Les exercices à faire sur un ordinateur seront le travail personnel de l'élève. Il est son répétiteur ...

Les efforts actuels importants doivent être faits pour améliorer la compréhension des processus cognitifs.

#### 5. Le futur : où en sera l'E.A.O. en 1990 ?

En contradiction avec les prédictions hyper-optimistes continues sur son avenir, l'E.A.O. a nécessité des investissements fous et a apporté des résul-

tats assez limités. Il y a, à cet état de fait, un certain nombre de raisons (HEBENSTREIT, 1979) : "Indépendamment des résultats obtenus, la résistance naturelle au changement, qui est certainement plus puissante encore dans les systèmes d'éducation qu'en n'importe quel endroit, a été un obstacle considérable. Même lorsque les autorités de tutelle acceptaient le changement, il restait la résistance au changement des divers enseignants. Pour ces raisons, une tendance nouvelle consiste à être beaucoup moins ambitieux pour l'E.A.O. que par le passé. Plutôt que de prétendre tout remplacer, l'E.A.O. est, de plus en plus, présenté comme un moyen supplémentaire qui apporte à l'enseignement quelque chose qui ne peut être obtenu par d'autres moyens. En d'autres termes, l'E.A.O. est présenté comme un média nouveau dans un enseignement qui est déjà multimedia (magnétophones, projecteurs, télévision, etc.). Cela paraît d'autant plus raisonnable que les prédictions de coûts de l'E.A.O. sont très loin des réalités d'aujourd'hui".

Néanmoins, s'il faut en croire Richard C. ATKINSON, Emile E. ATTALA, Donald L. BITZER, C. Victor BUNDERSON, Sylvia CHARP et John HIRSCHBUHL<sup>(1)</sup>, l'avenir de l'E.A.O. est toujours l'objet de prévisions très optimistes (Richard C. ATKINSON, ..., 1978).

Leur optimisme est justifié par la tendance technologique, psychologique et sociale actuelle qui laisse présager dans un avenir très proche des développements importants dans l'E.A.O.

#### a) La tendance technologique.

La miniaturisation et la diminution des coûts favorisent l'entrée de l'E.A.O. dans les écoles mais surtout dans les foyers. Chaque étudiant aura son système

---

(1) Richard C. ATKINSON est directeur du "National Science Foundation", Washington.  
Emile E. ATTALA est "Associate Professor, Computer Science and Statistics Department, California Polytechnic State University", California.  
Donald L. BITZER est directeur du "Computer Based Education Research Laboratory", University of Illinois, Urbana.  
C. Victor BUNDERSON est président de "WICAT, Inc., Learning Design Laboratories", Orem, Utah.  
Sylvia CHARP est directeur du "Instructional Systems, School District of Philadelphia", Pennsylvania.  
John J. HIRSCHBUHL est directeur du "Computer Assisted Instruction", University of Akron, Ohio.

de type "Intelligent Video Book". Les problèmes de transférabilité seront résolus par la possibilité de modifier aisément le software *câblé*.

b) La tendance psychologique.

L'accroissement de la recherche de la compréhension des processus cognitifs apportera sur le marché des systèmes intelligents d'instruction ainsi qu'une réponse de plus en plus précise à la question : qu'est-ce que la connaissance ?

c) La tendance sociale.

La tendance actuelle est de considérer l'E.A.O. comme une ressource très chère dont l'utilisation doit être pesée vu son prix élevé. Vers 1990, la distribution des logiciels sur une très grande échelle provoquera un effondrement des prix de ceux-ci si bien que l'E.A.O. sera ressenti comme une nécessité éducative.

CHAPITRE 2 : Instruction Individualisée dans un système  
Multimedia d'enseignement - le système IMAGO.

1. Introduction.
2. La philosophie générale de la méthode IMAGO.
  21. Un modèle pédagogique.
  22. Les divers éléments du modèle.
    221. Structuration de l'information.
    222. Les composantes d'un opérateur humain.
    223. L'évaluation.
    224. La détermination de l'état de l'élève et la gestion.
3. L'état actuel du projet IMAGO.
  31. Composantes d'un opérateur humain.
  32. Structuration de l'information.
  33. Evaluation.
    331. Configuration du logiciel IMAGO.
    332. Description des fonctions du logiciel.
    333. Règles de composition d'un dialogue - METAGO.
  34. Détermination de l'état de l'élève.
  35. La gestion.
4. Critique du système IMAGO.

## 1. Introduction.

Les responsables de l'enseignement supérieur ont à faire face à un double problème posé chaque année en des termes plus aigus :

- la croissance constante du nombre d'élèves;
- l'augmentation de la quantité d'informations à transmettre.

D'autre part, les réflexions pédagogiques sur les objectifs de l'enseignement ont mis en évidence l'importance de la formation en regard de l'information. Cette tendance s'oppose, semble-t-il, aux objectifs de l'enseignement tels qu'ils sont définis aux Etats-Unis et tels qu'ils ont été développés dans le premier chapitre. Il paraît donc normal d'attendre des solutions différentes à des problèmes posés en des termes différents. Les systèmes multimedia d'enseignement tentent d'apporter une solution à la fois à ces difficultés et à ces exigences.

Le profil des étudiants abordant des études supérieures devenant de plus en plus diversifié, les connaissances de base ainsi que les aptitudes mentales développées durant l'enseignement secondaire varient fortement à l'intérieur d'une même classe. Ce problème ne peut être résolu par la seule individualisation de la prise d'information. Pour que l'élève puisse progresser jusqu'au maximum de ses possibilités, il faut pouvoir fournir à celui-ci un contenu d'information adapté à son "état" et aboutir ainsi à une personnalisation de l'enseignement.

L'utilisation des moyens technologiques à des fins pédagogiques permet un apprentissage individualisé et personnalisé ainsi que la construction de programmes en termes d'aptitudes plus qu'en termes de contenus.

Cette approche est poursuivie au centre *IMAGO (Système d'Instruction Multimedia Assisté et Géré par Ordinateur)* par l'introduction des filières parallèles d'apprentissage. Chaque concept figurant dans un bloc d'enseignement est présenté suivant différents modes, de telle sorte que chaque élève puisse recevoir l'information qui lui est la mieux adaptée. Cette phase capitale de l'individualisation soulève une série de problèmes, qui ne peuvent être résolus que sur base de résultats de recherches portant sur le comportement de l'opérateur humain en situation d'apprentissage ainsi que sur les modèles mathématiques d'évaluation et de gestion (JONES, 1977), (DUBOIS, Th., 1975).

Afin de fournir à l'élève une information adéquate, il faut, en effet, disposer à la fois d'une taxonomie des aptitudes et de méthodes d'évaluation permettant d'effectuer une mesure suivant chacune de ces aptitudes. Le troisième chapitre de ce mémoire, composé de résultats personnels, proposera les premiers développements d'un outil destiné à l'évaluation d'une de ces aptitudes : la capacité de déduction logique (D).

## 2. La philosophie générale de la méthode IMAGO.

Le système *IMAGO* est une expérience intégrée dans la routine universitaire et ne se limite donc pas à une recherche pure. Il utilise non pas uniquement l'ordinateur mais également tous les moyens didactiques intéressants et ce, au moment optimal de leur emploi. C'est ainsi que sont utilisés aussi bien le cours magistral, le livre, la bande magnétique, la télévision et les techniques de groupe que l'ordinateur, justifiant ainsi sa qualification de "multimedia".

### 21. Un modèle pédagogique.

Le modèle qui est à la base de la méthode *IMAGO* est un modèle pédagogique de type "phénoménologique". Il est repris à la figure 1. Les chiffres qui apparaissent dans celle-ci correspondent aux diverses actions à mettre en oeuvre pour la réalisation et l'application de ce modèle (JONES, 1973).

La démarche utilisée consiste à débiter le modèle avec l'état initial de ces diverses phases pour les améliorer ensuite sur base d'expérimentation, et rendre ainsi le modèle de plus en plus pertinent.

Avant d'analyser ces différentes actions, analysons leur enchaînement. *L'optimisation de l'apprentissage*, c'est-à-dire de *l'état de l'élève* est l'objectif continuellement revu du modèle. Cet objectif passe par la définition des différentes aptitudes caractéristiques de l'état de l'élève (*théorie de l'opérateur humain*) et par l'évaluation de chacune de celles-ci sur base de *contrôles correctifs individualisés* et d'*exercices de créativité*. Cette évaluation n'est possible que si le professeur découpe son cours en blocs homogènes et associe à chacun de ceux-ci des objectifs posés en termes de performance et de comportement (*structura-*

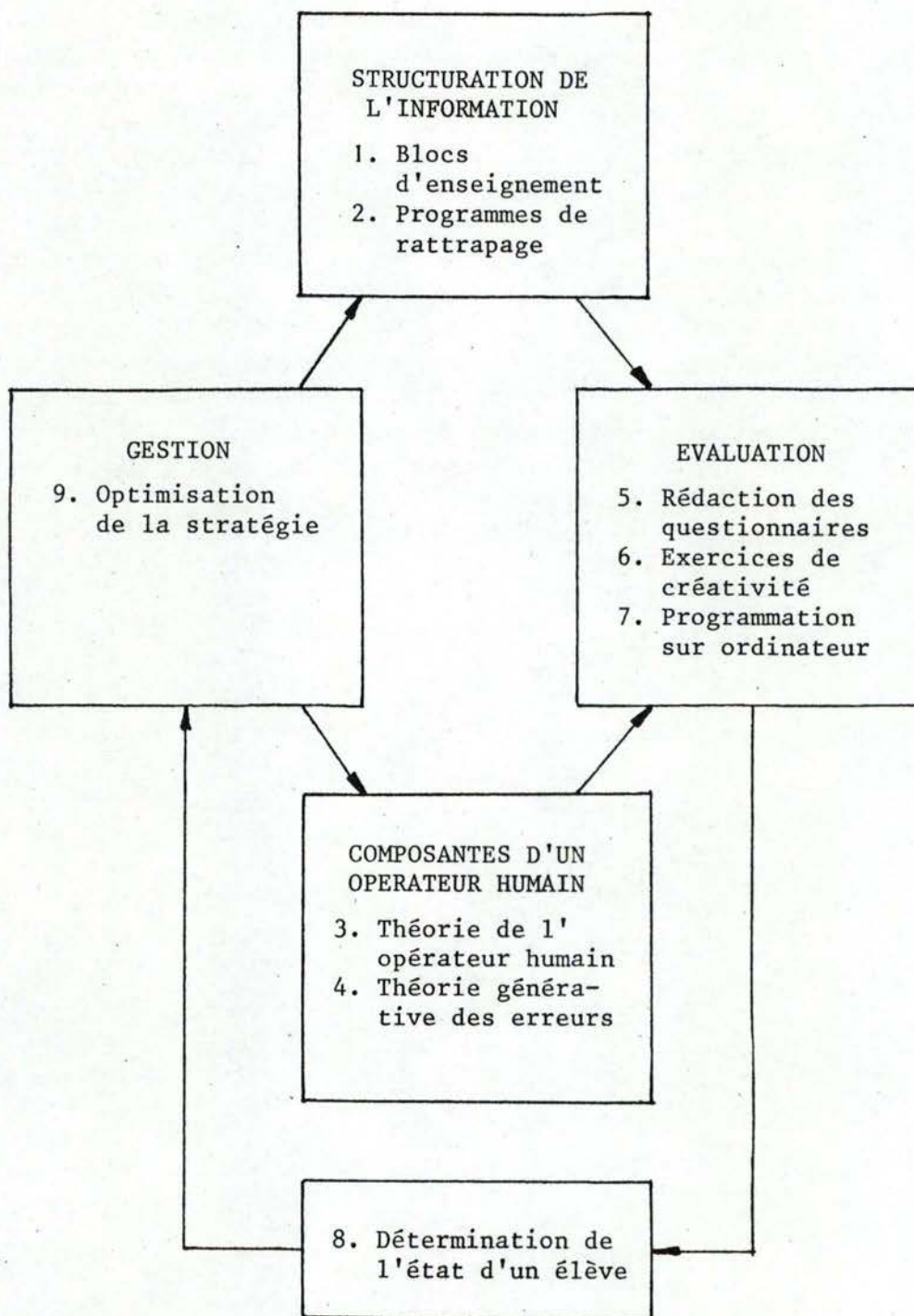


figure 1.

tion de l'information). L'évolution de l'état de l'élève comparativement aux prévisions amènera à se poser des questions quant à la pertinence du modèle et permettra de dégager certaines améliorations si c'est nécessaire. De plus, l'analyse des erreurs commises par les étudiants lors des tests d'évaluation devrait permettre de dégager certains algorithmes utiles dans la rédaction des cours et des contrôles.

## 22. Les divers éléments du modèle.

### 221. La structuration de l'information.

La phase de structuration de l'information comporte deux étapes. La découpe en blocs d'enseignement est essentielle pour la suite. Les programmes de rattrapage, malgré leur importance, ne font pas partie intégrante du modèle.

#### *Les blocs d'enseignement (1).*

A partir des objectifs terminaux posés en termes de performance et de comportement, le professeur précise, au moyen d'une analyse à rebours, les échelons intermédiaires (blocs d'enseignement) entre le stade final et le stade initial du cours. Ce dernier est fixé en fonction des connaissances prérequis ou conditions d'initialisation. Des présentations différentes du contenu (abstraite, concrète, opérationnelle, ...) donnent lieu à la création de différentes filières d'apprentissage (filières parallèles).

#### *Programmes de rattrapage (2).*

Le niveau de départ étant fixé, il s'agit de déterminer le niveau de compétence initial chez chaque étudiant et de combler ses lacunes en un temps très court. Des programmes de rattrapage individuels permettent de réduire les lacunes présentées.

### 222. Les composantes d'un opérateur humain.

C'est sur base d'expérimentation que l'on pourra dégager à la fois une "théorie" de l'opérateur humain et une "théorie" générative des erreurs.

#### *"Théorie" d'un opérateur humain (3).*

Dans toute démarche intellectuelle, l'opérateur humain fait appel à la fois à son raisonnement (prise en compte logique), à sa mémoire et à son imagina-

tion (prise en compte globale). C'est pourquoi, en ce qui concerne l'apprentissage, il est important de développer une analyse de l'une et de l'autre, car il en découle une méthodologie tant pour l'élaboration de l'information que pour l'évaluation.

*La "théorie" générative des erreurs (4).*

Libéré de la partie qui n'est que transmission de connaissances, le professeur peut consacrer son temps aux élèves en proie à des difficultés. Les erreurs commises par les élèves lors des exercices, les difficultés de compréhension sont relevées et classées. De cette étude ressort l'existence de types fondamentaux d'erreurs et de modes de raisonnement tels que l'usage abusif de l'analogie, la confusion d'une grandeur et de sa variation, etc.

### 223. L'évaluation.

Après chaque bloc d'enseignement, l'élève doit se soumettre à une série de contrôles visant chacun une aptitude bien définie (fig. 2). Certains contrôles se font par voie orale, pour connaître la motivation de l'élève, d'autres font appel aux capacités de créativité, de passage de l'abstrait au concret et font appel à une intervention mixte de l'écrit, de l'oral et de l'ordinateur. D'autres enfin (contrôle correctif individualisé des connaissances) ne peuvent se passer de ce dernier.

*Les questionnaires (5).*

Tout contrôle est préparé par l'analyse logique du contenu conceptuel, la détermination des objectifs en termes d'aptitudes ou de composantes d'opérateur humain, l'étude des démarches mentales de l'élève. Les contrôles se font sous la forme d'un dialogue étudiant-ordinateur, du type questions-réponses.

On définit en fonction des objectifs du contrôle une série de questions principales (séquence directe) et de questions accessoires (débranchement) liées aux erreurs les plus fréquentes.

Il s'agit donc de guider l'élève dans une arborescence et de relever ses erreurs afin de les corriger : le débranchement suppose un programme de contrôle hautement diversifié et adaptatif. Seule l'utilisation de l'ordinateur permet la rentabilité d'un tel type de questionnaire grâce à sa capacité de stockage des informations et à sa rapidité de traitement.

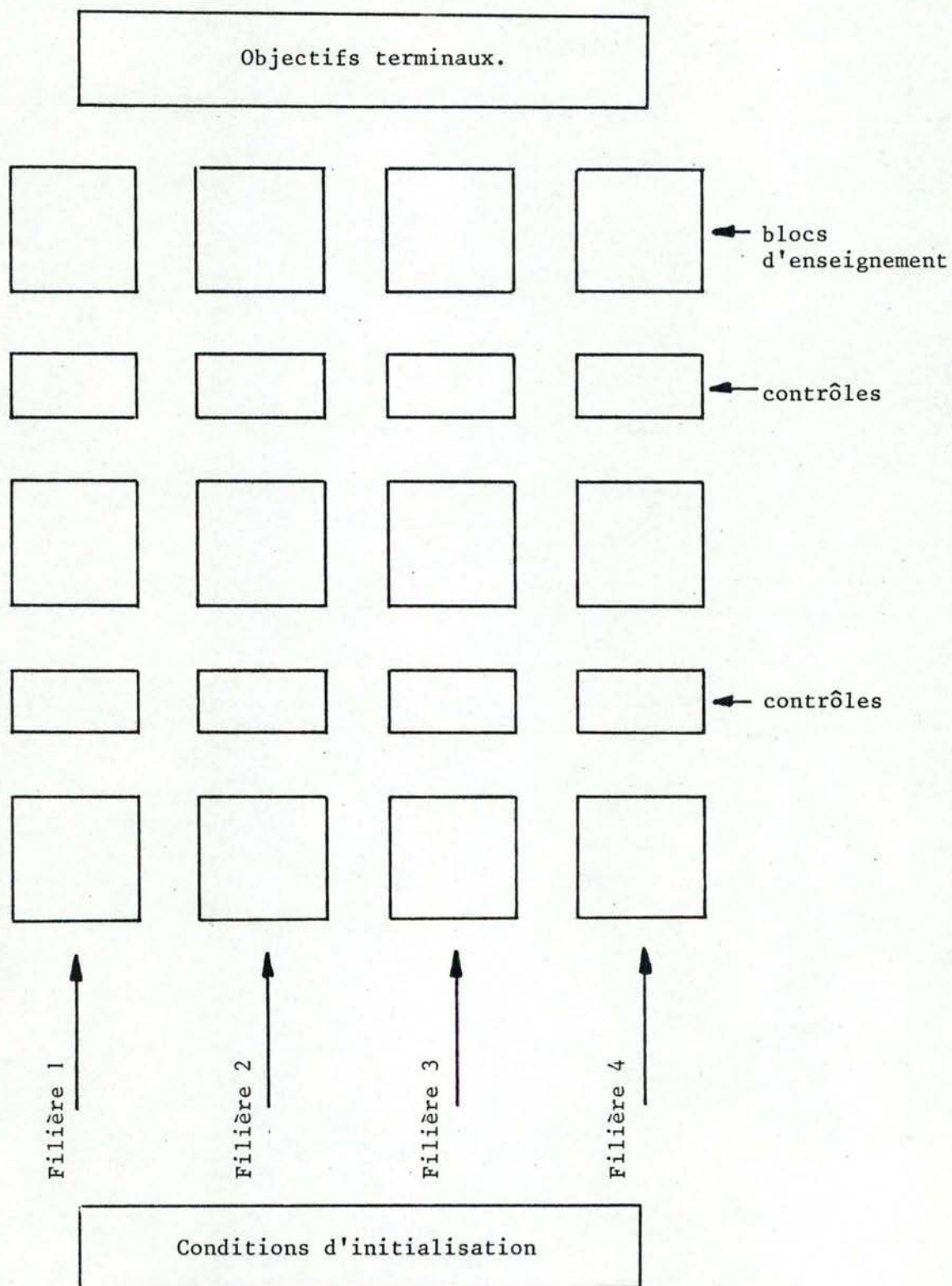


figure 2. Schéma d'une organisation de l'apprentissage en filières.

*Les exercices de créativité - Stimulation inventive (6).*

Ils constituent un contrôle sur la possibilité d'innover, c'est-à-dire de contester les modèles existants et d'en fabriquer d'autres (KAUFMANN, A., 1973).

*La programmation sur ordinateur (7).*

Le programme actuel permet d'attribuer à chaque réponse de l'étudiant une valeur de vérité pouvant aller de 0 à 9. Chaque valeur de vérité constitue le critère sur lequel se base le programme pour orienter l'élève dans l'arborescence du questionnaire. Ainsi 0 correspond à une valeur correcte, 3 à une réponse non prévue, 9 à la réponse "je ne sais pas", etc.

Une fois la valeur de vérité déterminée, l'étudiant passe soit à la question principale suivante (séquence directe), soit à une ou plusieurs questions de débranchement.

Pour évaluer les réponses, deux types de contrôles sont mis au point : l'analyse des réponses sous forme libre et l'analyse des réponses sous forme numérique ou d'égalité algébrique. Un commentaire apparaît enfin pour informer l'étudiant sur la raison de son erreur ou sur le caractère correct de sa réponse.

224. La détermination de l'état de l'élève (8) et la gestion (9).

Les valeurs prises par les diverses composantes d'un opérateur humain au cours de l'évaluation déterminent le profil de l'élève. Ces déterminations se basent sur des outils mathématiques et notamment sur la théorie des sous-ensembles flous.

Toutes les informations tirées des contrôles doivent permettre une gestion de l'apprentissage, gestion qui va de pair avec l'optimisation de la stratégie d'apprentissage et également de la stratégie d'enseignement.

Deux attitudes pédagogiques extrêmes s'offrent à l'enseignant : soit pousser l'un des points forts de l'élève, tout en s'assurant un gain maximum, soit développer au mieux les points faibles de l'élève également de la façon la plus efficace. Toutes les attitudes intermédiaires sont également envisageables et c'est sur base d'expérimentation que l'enseignant doit remettre continuellement en question son attitude pédagogique.

### 3. L'état actuel du projet IMAGO.

L'état actuel du projet ne doit nullement être considéré comme définitif. De nombreux problèmes restent partiellement irrésolus (évaluation de certaines aptitudes). D'autres, quoi qu'ayant trouvé une première solution théorique, ne sont pas pris en compte. C'est le cas de la partie du modèle traitant de la gestion de l'enseignement. Reprenons successivement les différentes actions à mettre en oeuvre pour l'application du modèle et analysons l'état actuel de développement des outils.

#### 31. Composantes d'un O.H. (1).

Actuellement, ce module n'est pas pris en compte par le système IMAGO. Néanmoins, une première esquisse existe et permettra de débiter l'intégration dès que seront résolus les problèmes liés à l'évaluation des diverses composantes de l'O.H.

On peut avoir une idée résumée de ce que le professeur A. JONES, promoteur de ce projet, considère comme l'"O.H." en interaction avec le monde externe (JONES, A., 1977).

En plus de la motivation fonctionnant comme filtre d'intérêt, l'O.H. est caractérisé par une structure interprétative, une structure organisatrice et une structure de décision.

"A ces trois structures fondamentales correspondent des aptitudes à développer et qui constituent les éléments de la taxonomie envisagée :

à l'information correspondent : la mémoire, la syntaxe, la sémantique;

à l'organisation correspondent : l'induction la déduction, la créativité, la stratégie, la comparaison;

à la décision correspond l'autoévaluation suite à la comparaison des résultats.

Si l'on veut demeurer dans le domaine du praticable, on est amené à simplifier le modèle d'"O.H."

C'est pourquoi nous nous contentons d'envisager un modèle d'"O.H." que l'on pourrait appeler d'ordre zéro, vu que nous ne prendrons pas en compte les interactions possibles entre les diverses aptitudes de l'"O.H.", nous contentant de les considérer comme juxtaposées.

---

(1) O.H. : Opérateur Humain.

Nous retiendrons, parmi ces aptitudes, celles dont le défaut seul a une influence sur le choix du média et du mode d'enseignement et nous ne prendrons pas en considération celles telles que la vitesse mentale, dont l'acquis ou l'absence ne conduisent pas à un choix exclusif de l'un ou de l'autre des médias et/ou modes, vu l'individualisation du système.

Si l'on représente par :

- 1) *M* l'aptitude de l'élève à la mémorisation,
- 2) *S* ses connaissances syntaxiques,
- 3)  $\Sigma$  sa richesse sémantique,
- 4) *I* ses capacités d'induction,
- 5) *D* ses capacités de déduction,
- 6) *T* ses capacités de transfert ou de comparaison,
- 7)  $\Gamma$  son jugement sur le choix d'une stratégie,
- 8) *C* ses facultés créatrices,

l'"O.H." possède un état à 8 dimensions et s'écrit :

$$E = f(M, S, \Sigma, I, D, T, \Gamma, C)$$

où *f* peut représenter un vecteur. Nous pensons toutefois que cette fonction est sans importance, puisque nous considérons dans les "Systèmes Informatiques d'Education", le développement de chaque aptitude indépendamment des autres" (JONES, A., 1977).

En ce qui concerne la théorie générative des erreurs, des réalisations ponctuelles existent. Elles définissent une certaine typologie des erreurs. Celle-ci a pour but d'attirer l'attention du professeur sur les types fréquents d'erreur. L'efficacité des cours et des questionnaires destinés au contrôle correctif de l'enseignement s'en trouve renforcée.

C'est surtout lors de l'utilisation complète du système que l'analyse des erreurs commises par les étudiants devrait permettre de dégager certains algorithmes utiles dans la rédaction des cours et des contrôles.

### 32. Structuration de l'information.

La composition d'un module d'enseignement se fait en deux étapes : d'abord l'analyse du concept et ensuite sa mise en forme. Dans chacune d'elles, plusieurs phases sont à envisager.

1. L'analyse du concept se fait selon la technique de l'enseignement programmé dite "analyse à rebours". On procédera comme suit :

a) On passe en revue toutes les propriétés du concept envisagé. Pour cela, on imagine le plus grand nombre possible de situations ou problèmes dans lesquels ce concept intervient. On est aussi conduit à énoncer toute une série de "propositions" au sujet de ce concept.

Dans le cas du concept de l'accélération instantanée par exemple, on a parmi d'autres, énoncé la proposition suivante (résultat de l'analyse d'un graphique donnant les accélérations d'un Boeing 707 en fonction du temps) :

"Si au temps  $t = 0$ , la vitesse et l'accélération instantanées sont toutes deux *nulles*, un corps ne peut quitter l'état de repos au temps  $t = 0$ ".

b) De ces propositions, on cherche ensuite à extraire les concepts de base ou "atomes" au sens de la logique formelle. Les propositions énoncées ne peuvent en effet qu'être le résultat de combinaisons de divers ensembles de bases, supposés déjà enseignés ou à enseigner. Dans l'exemple cité (le concept d'accélération instantanée), ceux-ci sont au nombre de cinq :

- l'ensemble  $E_1$  des accroissements :  $\Delta \dots$
- l'ensemble  $E_2$  des grandeurs d'une vitesse :  $v$
- l'ensemble  $E_3$  des vecteurs unitaires :  $v$
- l'ensemble  $E_4$  des temps :  $t$
- l'ensemble  $E_5$  des limites :  $\lim \dots$

c) On compose ensuite avec des éléments l'ensemble des parties (E) ou "idéogramme" auquel correspond un treillis de BOOLE, appelé "treillis conceptuel" qui dans le cas de l'accélération instantanée comprend  $2^5 = 32$  éléments disjoints ou "objets" et donc 5 manières différentes d'ordonner les "objets" ou chemins possibles pour enseigner le concept envisagé.

d) Avec ces 32 "objets" ou "concepts atomiques" (en termes de propositions), on

peut construire toutes les propositions que l'on pourrait formuler et construire un treillis proportionnel permettant de présenter la matière ou d'évaluer les connaissances sur le sujet étudié. Ce treillis de BOOLE que l'on appelle complet comporte  $2^{32}$  sommets et  $32!$  chaînes maximales.

2. La mise en forme de la matière est fondée sur plusieurs idées directrices tirées des connaissances de la pédagogie. Si dans la résolution d'un problème, la stratégie de l'élève peut être suivie sur le treillis propositionnel, la présentation de la matière se basera sur l'hypercube construit à l'aide de (E). Les diverses phases de cette seconde étape sont les suivantes :

- a) Il y a d'abord une première rédaction de l'information à transmettre. Celle-ci se fait sur un canevas général qui comprend dans l'ordre :

QV une question verbale,

IG une information graphique,

QG une question se rapportant à un graphique,

IV une information verbale qui construit la réponse à QV,

IF une information formelle,

QF une question formelle,

QS une question générale de synthèse.

Les éléments de rédaction de chaque objet sont donc écrits en résumé dans un tableau tel que celui de la figure 4. Pour chaque aptitude à développer, il existe un tableau de ce type tout en remarquant que certains "objets" des tableaux peuvent être vides.

- b) A chaque élément de rédaction est associé un code. A la figure 5, on trouve un exemple d'informations sur un de ces objets, avec son code associé

N	/	I V D T	/	A	/	1
sommet		"objet"		aptitude		page
du						
treillis						

- c) L'information est alors répartie entre les divers media selon des règles qui seront décrites plus loin.
- d) Tenant ensuite compte des possibilités de diversification, le didactographe est simplifié comme cela a été expliqué ailleurs (DUBOIS, Th., 1976).

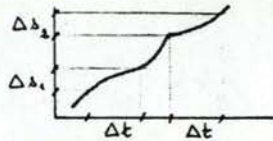
## GRAPHIQUE

## VERBALE

## FORMELLE

I  
N  
F  
O  
R  
M  
A  
T  
I  
O  
N

Deux mouvements pour lesquels, pour des intervalles de temps de valeurs égales  $\Delta t$  définis, on aurait des espaces parcourus égaux qui ne sont pas pour autant identiques.

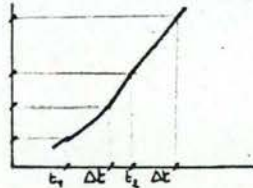


Ces deux mouvements se différencient si on prend des  $\Delta t$  plus petits, tout en gardant le même  $t_i$  initial.

En allant en voiture de Bioul à Anhée, on suit une route toute droite. Si l'on mesure le temps mis par un automobiliste, on constate qu'il lui a fallu 10 minutes pour parcourir les 10 kilomètres.

Toutefois, si l'on avait décomposé l'intervalle de temps en deux intervalles de 5 minutes chacun, on aurait remarqué que durant les 5 premières minutes, il a parcouru 6 kilomètres et durant les 5 minutes suivantes seulement 4 kilomètres. Ceci indique que la valeur de la vitesse moyenne indique mal les finesses de mouvement et que plus l'intervalle est petit plus apparaissent les variations de la vitesse.

Figure 4

O  
U  
E  
S  
T  
I  
O  
N

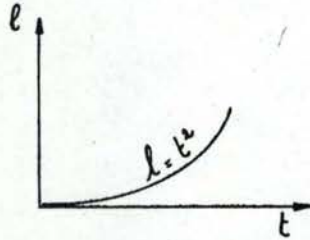
Les espaces parcourus  $\Delta s_1$  et  $\Delta s_2$  correspondent à un même  $\Delta t$ . On forme les rapports  $\frac{\Delta s_1}{\Delta t}$  et  $\frac{\Delta s_2}{\Delta t}$

Ceux-ci gardent la même valeur. Que peut-on dire des graphes possibles qui correspondent à ces rapports ?

Pour aller d'un point A à un point B, un mobile parcourt un espace  $\Delta S$  et prend un intervalle de temps  $\Delta t$ . Si on découpe cet intervalle de temps en 3 parties égales  $(\Delta t)_1 = (\Delta t)_2 = (\Delta t)_3$  et qu'on mesure l'espace parcouru durant chacun de ces intervalles de temps, on s'aperçoit qu'ils sont dans le rapport  $3 \Delta s_1 = \Delta s_2 = 1/2 \Delta s_3$ . Un second mobile parcourt le même espace total durant le même intervalle de temps et on constate  $2 \Delta s'_1 = 3 \Delta s'_2 = \Delta s'_3$ . Pour une même vitesse moyenne totale, il y a des vitesses moyennes très différentes durant les intervalles de temps  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ . En les calculant vous verrez que la vitesse moyenne n'est pas une information sur le déroulement du phénomène.

Quelque soit sa position dans le temps, la vitesse instantanée d'un mobile ne varie pas.

Que peut-on dire de sa vitesse moyenne ?



Sur le diagramme (l, t) une fonction qui n'est pas une droite représente l'évolution d'un corps dont la vitesse varie avec le temps.

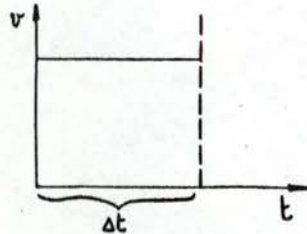
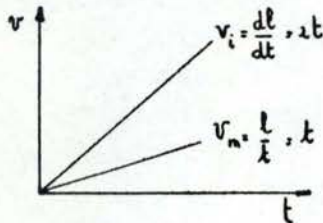
Dans ce cas, les valeurs de la vitesse instantanée

$$v_i = \frac{dl}{dt}$$

diffèrent de celle de la vitesse moyenne

$$v_m = \frac{l}{t}$$

ce qui apparaît sur le second diagramme.



Le graphique ci-contre donne la valeur de  $v_i$  dans l'intervalle de temps  $\Delta t$ .

Quelle autre fonction représente cette droite ?

En un point quelconque d'un intervalle de temps  $\Delta t$ , on a

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t} \neq \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

Quelle déduction peut-on faire ?

Veuillez, en quelques mots, donner un titre à cette page.

Figure 5

Nous tenons à préciser que cette technique appliquée aux concepts de "déplacement", "vitesse moyenne", "vitesse instantanée" est restée au stade expérimental et n'a été utilisée que durant deux années académiques au niveau d'un enseignement de première candidature. Son emploi avait pour but de permettre de se rendre compte si le modèle de gestion proposé était applicable. Ce qui fut le cas, avec quelques réserves, dont l'explication dépasse le cadre de ce mémoire, mais avec suffisamment de succès pour justifier la poursuite de la mise au point des outils d'évaluation des diverses aptitudes.

Dans les cours tels que "Introduction à la Statistique", "Analyse des systèmes", on s'est contenté de deux types d'approches, l'une concrète, l'autre abstraite en visant deux niveaux d'aptitudes, l'un opérationnel (regroupant mémoire, syntaxe, créativité), l'autre conceptuel (regroupant les autres aptitudes).

### 33. Evaluation.

L'évaluation repose sur un contrôle correctif de l'apprentissage. Un logiciel a été développé pour assister le professeur dans la rédaction des questionnaires destinés au contrôle (METAGO) et pour effectuer le contrôle sur base de ces questionnaires (IMAGO). Son état actuel de développement ne permet pas de déterminer une valeur caractéristique de l'état de l'élève, condition impérative pour la gestion de l'apprentissage.

Décrivons le logiciel tel qu'il existe actuellement :

Ce logiciel est spécialement destiné au contrôle correctif de l'apprentissage. C'est dans ce genre d'activité en effet que l'usage de l'ordinateur s'est révélé être un outil pertinent tant au plan de l'efficacité pédagogique qu'au plan des commodités et des coûts d'utilisation. D'autres applications de ce logiciel ne sont pas exclues mais l'existence d'autres moyens didactiques moins coûteux et tout aussi performants rend superflu l'usage de l'ordinateur pour les traiter.

Le dialogue homme-machine nécessite la programmation des fonctions suivantes :

- édition d'information s'adressant à l'élève;
- enregistrement d'informations exprimées par l'élève;
- valuation sémantique de l'expression de l'élève;
- chaînage du dialogue;
- enregistrement de la trace du dialogue.

Nous allons les étudier plus en détail.

### 331. Configuration du logiciel IMAGO.

La figure 6 décrit succinctement cette configuration.

### 332. Description des fonctions du logiciel.

#### L'édition d'informations adressées à l'élève.

Cette fonction permet de transmettre à l'élève par l'intermédiaire d'un terminal video ou imprimante les éléments d'information qui doivent être assumés par l'ordinateur. Il s'agit par exemple :

- de textes descriptifs,
- d'énoncés de question ou de problèmes,
- de commentaires et d'appréciations.

#### L'enregistrement d'informations exprimées par l'élève.

Cette partie est destinée à enregistrer les "réponses" de l'élève. Il est admis que celui-ci peut s'exprimer sur trois *modes* différents :

- le mode numérique (sous forme d'un nombre),
- le mode algébrique (sous forme d'une égalité algébrique),
- le mode alphanumérique (sous forme d'une phrase de langage courant).

#### L'identification et la valuation sémantique de l'expression de l'élève.

L'existence d'un dialogue nécessite l'identification de l'expression transmise par l'élève et l'attribution à celle-ci d'une valeur qui permettra l'enchaînement. Le logiciel comporte 3 modules d'analyse de réponse, correspondant aux 3 modes d'expression autorisés pour l'élève. Ces modules facilitent la comparaison entre la réponse de l'élève et l'ensemble des expressions prévues par l'enseignant pour un élément de dialogue. Les qualités de ces outils permettront de juger la souplesse du système. Ils ont pour but de faciliter le travail d'écriture du professeur tout en minimisant le risque d'accepter comme valable une réponse erronée et de réfuter une bonne réponse.

Si ces outils ne permettent évidemment pas de supprimer totalement ce risque d'erreur, l'innovation du logiciel consiste à reconnaître des expressions algébriques équivalentes si leur formulation est cohérente avec les propriétés des polynômes définis sur  $\mathbb{R}$  et avec le traitement des fonctions. Cette innovation facilite grandement le travail de rédaction de questionnaires scientifiques.

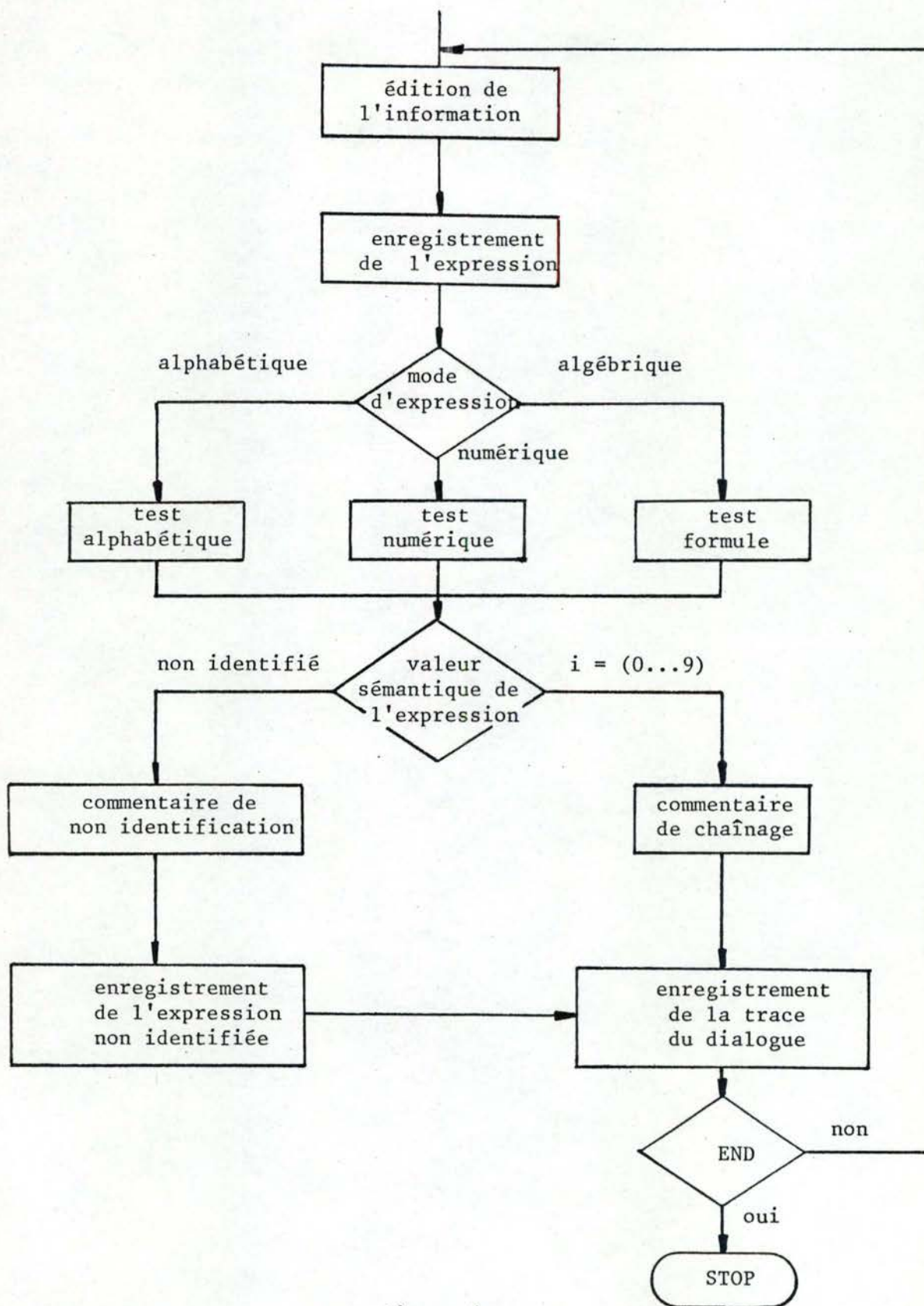
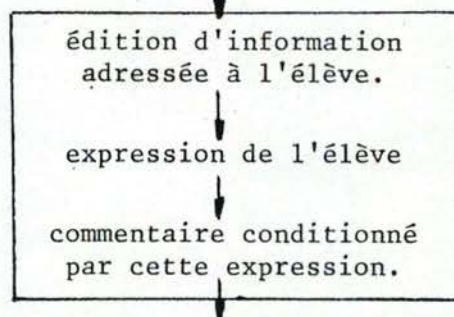


figure 6.

Lorsqu'un module d'analyse a permis d'identifier la réponse de l'élève à une des expressions prévues par l'enseignant, la valeur de vérité (valuation sémantique) correspondante est attribuée à cette réponse. Dans le cas contraire, la valeur standard 3 caractéristique d'une réponse non prévue ou non identifiée lui est attribuée.

Chaînage ou gestion du dialogue.

a) Un élément de dialogue peut être schématisé de la façon suivante :



L'enchaînement du dialogue est réglé selon un "scénario" conçu au préalable par l'enseignant dans les limites d'une logique précise. Ce scénario peut être représenté par un graphe orienté dont les noeuds correspondent aux éléments de dialogue et les arcs aux cheminements possibles entre les éléments de dialogue.

Un noeud sera défini par :

- l'information adressée à l'élève,
- l'ensemble des expressions probables de l'élève auxquelles l'enseignant a attribué une valeur sémantique donnée,
- l'ensemble des commentaires associés à ces expressions.

Un arc sera défini par :

- sa direction et les noeuds qu'il relie,
- les valeurs sémantiques qui le conditionnent.

b) Les règles de la logique du chaînage :

- le chaînage est conditionné par les valeurs sémantiques,
- un même cycle ne sera jamais parcouru plus d'une fois dans le graphe, ce qui permet de traiter différemment une même mauvaise réponse formulée deux fois,

- lorsque aucune valeur sémantique n'a pu être attribuée à l'expression de l'élève, on peut soit exiger la reformulation de cette expression, soit chaîner sur l'arc de poids 0 après un commentaire approprié.

#### Enregistrement de la trace du dialogue.

La trace du cheminement de l'élève dans le scénario prévu par l'enseignant permet à celui-ci de relever le passage par des chemins caractéristiques de processus mentaux significatifs et est donc très instructif sur le plan pédagogique.

L'enregistrement de toutes les expressions non identifiées permet d'améliorer, s'il y a lieu, la fiabilité du dialogue.

#### 333. Règles de composition d'un dialogue - METAGO.

Pour composer un scénario, le professeur est assisté par un programme interactif qui le guide dans la rédaction de celui-ci. Pour composer un élément de dialogue, l'enseignant répondra à l'ordinateur qui lui demandera les informations suivantes :

- le titre du dialogue,
- le numéro de la question,
- l'énoncé à faire imprimer par l'ordinateur pour chaque valeur de vérité,
- les expressions types à comparer à la réponse de l'élève et leurs synonymes,
- le numéro d'ordre du test associé à ces expressions fixant l'ordre dans lequel elles seront comparées à la réponse de l'élève,
- le commentaire associé à cette valeur de vérité,
- le numéro de l'élément de dialogue correspondant au branchement prévu pour cette valeur de vérité,
- le commentaire final éventuel.

Pour comparer la réponse donnée par un élève aux expressions prévues par l'enseignant, il faut spécifier des tests. Suivant le mode d'expression de l'élève, il s'agira de tests numériques, alphabétiques ou en manière de formules. :

- un test *numérique* sera spécifié par la ou les valeur(s) numérique(s) à fournir par l'étudiant. Il est loisible à l'enseignant de déterminer un *intervalle de tolérance*;
- un test *alphabétique* sera spécifié par le ou les mot(s) clé(s) qui doit(vent) figurer dans la réponse de l'élève. On se contentera de squelettes de mots clés

lorsque l'orthographe n'est pas significative par rapport au but de l'exercice. Dans le cas contraire, l'enseignant devra préciser qu'il s'agit d'un test *strict*; - un test *formule* sera spécifié par l'égalité polynomiale algébrique à laquelle la réponse de l'élève sera comparée après réduction éventuelle.

#### 34. Détermination de l'état de l'élève.

Le module de détermination de l'état de l'élève n'est pas intégré dans la méthode *IMAGO*. Des réalisations partielles sont opérationnelles (Créativité, Mémoire) (KAUFMANN, A., ... , 1973) et d'autres sont en cours de réalisation (Sémantique, Déduction, Stratégie).

C'est dans ce contexte que nous proposerons, dans le troisième chapitre, une ébauche de l'outil destiné à permettre l'évaluation de l'aptitude à la déduction.

#### 35. La gestion.

Actuellement, la gestion de l'apprentissage n'est pas opérationnelle mais à trouvé une première solution théorique (JONES, 1977). La compréhension de celle-ci nécessite la connaissance des éléments de base de la théorie des sous-ensembles flous dont les principaux sont repris en annexe.

Pour optimiser la stratégie d'enseignement, on se propose de répondre à la question : quelle est pour tel élève l'aptitude à développer et pour ceci, quel est l'objectif, quels sont les media et les modes à utiliser ?

En admettant que l'estimation d'une aptitude puisse se représenter par un nombre quelconque compris dans l'intervalle  $[0, 1]$ , l'état de l'élève pourra par exemple être représenté par le sous-ensemble flou suivant :

$$E = \begin{array}{cccccccc} \begin{array}{c} M \\ \sim \end{array} & \begin{array}{c} S \\ \sim \end{array} & \begin{array}{c} \Sigma \\ \sim \end{array} & \begin{array}{c} I \\ \sim \end{array} & \begin{array}{c} D \\ \sim \end{array} & \begin{array}{c} T \\ \sim \end{array} & \begin{array}{c} \Gamma \\ \sim \end{array} & \begin{array}{c} C \\ \sim \end{array} \\ \hline 0,7 & 0,8 & 0,4 & 0,6 & 0,5 & 0,9 & 0,2 & 0,7 \end{array}$$

Pour répondre à la question, il faut pouvoir établir des relations floues entre : les éléments flous :  $\begin{array}{cccc} M & S & \Sigma & \dots & C \\ \sim & \sim & \sim & & \sim \end{array}$ ; les media et les modes.

Il faut donc pouvoir estimer une valeur de non-appariement pour chaque couple objectif-media et également pour chaque couple media-mode d'enseignement.

Un estimateur de cette valeur peut être obtenu, par exemple, en considérant une distance de HAMMING généralisée au sens de la théorie des sous-ensembles flous, définie par :

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [1 - \mu_A(a_i)]$$

où chaque  $\mu(a_i)$  établit une valeur d'appariement entre des caractéristiques semblables du couple considéré.

Comme exemple, essayons de déduire un estimateur de non-adaptation de l'usage d'un ordinateur à l'apprentissage de la "syntaxe".

Pour cela, nous allons énumérer les caractéristiques de l'ordinateur et celles que nécessite l'apprentissage de la "syntaxe". Ces caractéristiques peuvent s'exprimer en "propositions primaires". Ainsi à l'ordinateur, on fera correspondre les propositions primaires suivantes :

- $x_1$  = retient une grande quantité d'informations (mémoire);
- $x_2$  = traite des informations de façon complexe;
- $x_3$  = accepte des informations et/ou un programme et donne de l'information demandée (mode interactif d'une certaine complexité);
- $x_4$  = fournit de l'information de façon répétitive;
- $x_5$  = la présentation de l'information manque d'esthétique;
- $x_6$  = le temps de réaction est court.

Quant à la syntaxe, on pourrait lui trouver les caractéristiques suivantes :

- $y_1$  = la quantité d'information est relativement faible;
- $y_2$  = le processus n'est guère logique;
- $y_3$  = le dialogue est élémentaire (interaction faible);
- $y_4$  = les exercices sont répétitifs (interaction rapide);
- $y_5$  = la présentation dépend du sujet (pas de spécifications précises);
- $y_6$  = la réponse est rapide.

Si l'on compare  $x_1$  avec  $y_1$ ,  $x_2$  avec  $y_2$ , ...,  $x_i$  avec  $y_i$ ,  $x_n$  avec  $y_n$ , étant entendu que  $x_j$  et  $y_j$  ont trait à une même caractéristique, on peut donner à chaque couple une valeur d'appariement choisie dans une table comme celle-ci :

Parfait	1
Bon	0,8
Convenable	0,6
Assez moyen	0,4
Pauvre	0,2
Exclu	0

On trouvera, par exemple, pour le couple "ordinateur-syntaxe" le message flou suivant  $\tilde{A}$  :

	$x_1:y_1$	$x_2:y_2$	$x_3:y_3$	$x_4:y_4$	$x_5:y_5$	$x_6:y_6$
$\tilde{A} =$	0,2	0,2	0,4	1	0,5	1

Si par contre, l'ordinateur était parfaitement adapté à l'étude de la "syntaxe", on aurait comme ensemble de valeurs d'appariement :

	$x_1:y_1$	$x_2:y_2$	$x_3:y_3$	$x_4:y_4$	$x_5:y_5$	$x_6:y_6$
$\tilde{B} =$	1	1	1	1	1	1

On obtiendra comme valeur de non-appariement de l'utilisation de l'ordinateur à l'apprentissage de la "syntaxe" :

$$\epsilon = \frac{1}{6} (0,8 + 0,8 + 0,6 + 0 + 0,5 + 0) = \frac{2,7}{6} = 0,45$$

Lorsque tous les "estimateurs de non-appariement" auront été déterminés, par exemple, selon la manière qui vient d'être précisée, on obtiendra entre l'ensemble des aptitudes  $A$  et l'ensemble  $M$  des media une relation floue :

$$R_{\tilde{1}} = A * M$$

On pourrait obtenir de la même manière une relation floue  $R_{\sim 2}$  entre les media  $M$  et l'ensemble des modes d'enseignement  $\Pi$  :

$$R_{\sim 2} = M * \Pi$$

Entre  $R_{\sim 1}$  et  $R_{\sim 2}$ , il existe une relation permettant de déterminer l'élément de  $\Pi$  le mieux adapté à un élément de  $A$ . Cette solution peut être trouvée par la relation floue

$$R_{\sim 3} = A * \Pi$$

obtenue en appliquant l'opérateur MIN - MAX entre les relations floues  $R_{\sim 1}$  et  $R_{\sim 2}$ .

Les relations floues  $R_{\sim 1}$  et  $R_{\sim 3}$  permettent ainsi de définir les moyens à utiliser et les modes à retenir en fonction des capacités de l'élève, et en fonction de la pédagogie du professeur. Afin de ne pas alourdir l'exemple, nous nous limiterons aux cinq premières aptitudes et à une partie de la relation floue  $R_{\sim 1}$ .

Après avoir subi les épreuves correspondant aux diverses aptitudes, l'état d'un élève est caractérisé, par exemple, par le sous-ensemble flou

$$A_{\sim} = \begin{array}{c} M \quad S \quad \Sigma \quad I \quad D \\ \left[ \begin{array}{ccccc} 0,6 & 0,6 & 0,4 & 0,7 & 0,4 \end{array} \right] \end{array} \quad (1)$$

Quant à la relation floue, nous allons la limiter au tableau suivant où

- $\lambda$  = le livre,
- $\pi$  = le professeur,
- $\tau$  = le tableau,
- $\delta$  = la diapositive,
- $\mu$  = le magnétophone,
- $\phi$  = le vidéophone.

L'optimisation du choix du media dépend nécessairement de l'état de l'élève. Deux attitudes pédagogiques extrêmes s'offrent alors à l'enseignant : soit pousser l'un des points forts de l'élève, tout en s'assurant un gain maximum, soit développer au mieux ses points faibles également de la façon la plus efficace.

$R_1$

A	M	$\lambda$	$\pi$	$\tau$	$\delta$	$\mu$	$\phi$
M		0	1	0,9	0,4	0,2	0,4
S		0,1	0,6	0,7	0,8	0,3	0,4
$\Sigma$		0	0,6	1	0,2	0,8	0,4
I		0,8	0,1	0,5	0,7	0,3	0,2
D		0,8	0,1	0,5	0,7	0,3	0,2

(2)

a) Première hypothèse : pousser l'un des points forts.

A cet effet, il faut établir le sous-ensemble flou  $M_{\sim}$ , dont les valeurs floues des éléments  $\lambda, \pi, \dots, \phi$ , que nous désignerons par  $x_{\sim 1}$ , donnent une "estimation" de l'importance à leur accorder dans la phase d'enseignement qui suit l'évaluation qui a conduit à établir le sous-ensemble flou  $A_{\sim}$ .

Nous devons donc résoudre l'opération

$$A_{\sim} * R_{\sim 1} = M_{\sim}$$

Pour définir l'opération \* considérons (1) d'une part, et la première colonne de (2) d'autre part :

$$A_{\sim} = \begin{array}{c} M_{\sim} \\ S_{\sim} \\ \Sigma_{\sim} \\ I_{\sim} \\ D_{\sim} \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 0,6 & 0,6 & 0,4 & 0,7 & 0,4 \\ \hline \end{array} * \begin{array}{c} (R_1)_{\lambda} \\ \lambda \\ M_{\sim} \\ S_{\sim} \\ \Sigma_{\sim} \\ I_{\sim} \\ D_{\sim} \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline 0 \\ 0,1 \\ 0 \\ 0,8 \\ 0,8 \\ \hline \end{array} = M_{\sim} \begin{array}{|c|c|} \hline ? & \\ \hline \end{array} \quad (3)$$

Résoudre l'équation floue (3) revient donc à trouver l'"estimateur" correspondant à la variable floue  $\lambda_{\sim}$ , pour que l'on ait une idée subjective de l'importance à accorder au media  $\lambda$  pour atteindre l'objectif fixé.

Pour résoudre ce problème, nous dresserons deux colonnes : celle de gauche avec les valeurs des variables floues  $M, S, \Sigma, I, D$ ; celle de droite avec les valeurs de "non-appariement" de  $\lambda$  correspondantes. On obtient ainsi le tableau suivant :

	$\underset{\sim}{A}$	$\lambda$
$M$	0,6	0
$S$	0,6	0,1
$\Sigma$	0,4	0
$I$	0,7	0,8
$D$	0,4	0,8

(4)

L'aptitude supérieure de l'élève est  $I$ , mais l'outil présenté  $\lambda$ , d'après sa valeur floue de "non-appariement" 0,8, risque probablement plus de freiner le développement de  $I$  que de favoriser son accroissement. Par contre, l'"estimateur" de  $M$  étant 0,6 et celui de  $\lambda$  correspondant étant 0, on peut s'attendre à ce que cette situation favorise un progrès substantiel de  $M$ .

Il semble dès lors logique de baser l'"estimateur" de la variable floue  $\lambda$  du sous-ensemble flou  $M$ , sur la différence (5) qui constitue une mesure subjective d'efficacité :

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}(a_i) - \mu_{\underset{\sim}{R}}(\lambda) \quad (5)$$

ce qui donne pour (4)

$$\begin{aligned} M : 0,6 - 0 &= 0,6 \\ S : 0,6 - 0,1 &= 0,5 \\ \Sigma : 0,4 - 0 &= 0,4 \\ I : 0,7 - 0,8 &= -0,1 \\ D : 0,4 - 0,8 &= -0,3 \end{aligned} \quad (6)$$

Les valeurs floues résultant de ces différences sont prises dans l'intervalle  $[-1, +1]$  et ont pour valeur d'efficacité maximum 0,6.

Dans l'opération

$$\underset{\sim}{A} * \underset{\sim}{R}_1 = \underset{\sim}{M}$$

l'opération correspond donc à

$$\mu_{\underset{\sim}{M}}(x_j) = \max_{i=1}^n [\mu_{\underset{\sim}{A}}(a_i) - \mu_{\underset{\sim}{R}_1}(x_{ij})] \quad (7)$$

$n$  désignant les aptitudes de l'élève prises en considération.

En appliquant cet opérateur Max-Diff. à (1) et (2), on obtient le sous-ensemble flou suivant :

$$\underset{\sim}{M} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline \lambda & \pi & \tau & \delta & \mu & \phi \\ \hline 0,6 & 0,6 & 0,2 & 0,2 & 0,4 & 0,5 \\ \hline \end{array} \quad (8)$$

Il reste alors à l'enseignant, ou de préférence à un ordinateur, à présenter à l'élève en question un tel enseignement "à la carte", étant entendu que le même procédé peut être appliqué pour déterminer les modes d'enseignement les plus favorables.

b) Seconde hypothèse : pousser l'un des points faibles.

En reprenant en considération les expressions (3) et (4), on constate que l'aptitude la plus faible de l'élève est donnée par l'expression logique floue :

$$\Sigma \nabla D \quad (\Sigma \text{ ou } D \text{ en flou}) \quad (9)$$

Les valeurs floues de l'aptitude et celle de "non-appariement" devant donc être toutes les deux les plus petites possible, on remplacera (5) par :

$$\underset{\sim}{\mu}_A(a) + \underset{\sim}{\mu}_R(\lambda) \quad (10)$$

et au lieu de (6), on obtient (11) :

$$\begin{array}{l} M : 0,6 + 0 = 0,6 \\ S : 0,6 + 0,1 = 0,7 \\ \Sigma : 0,4 + 0 = 0,4 \\ I : 0,7 + 0,8 = 1,5 \\ D : 0,4 + 0,8 = 1,2 \end{array} \quad (11)$$

dont les valeurs sont donc prises dans l'intervalle  $[0, 2]$ .

L'opération la plus efficace sera donc fournie par le minimum de la somme

$$\underset{\sim}{\mu}_A(a_i) + \underset{\sim}{\mu}_R(\lambda) \quad (12)$$

En prenant la moitié de la somme on ramène l'intervalle des valeurs floues à  $[0, 1]$ .

On propose donc dans la seconde hypothèse pédagogique de remplacer l'opération (7) par l'opération (13)

$$\mu_{\tilde{M}}(x_j) = \min_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{2} [\mu_{\tilde{A}}(a_i) + \mu_{\tilde{R}}(x_{ij})] \right\} \quad (13)$$

Le sous-ensemble  $\tilde{M}$  résultant de l'opération est alors :

	$\lambda$	$\pi$	$\tau$	$\delta$	$\mu$	$\phi$
$\tilde{M} =$	0,3	0,25	0,45	0,3	0,35	0,3

Ainsi donc pour notre élève présentant une lacune en sémantique, l'usage simultané du tableau ( $\tau$ ) et du magnétophone ( $\mu$ ) serait capable de donner le meilleur effet. Selon quel mode ? Il resterait à appliquer la même méthodologie pour le déterminer.

#### 4. Critique du système IMAGO.

Contrairement à toutes les autres solutions informatisées d'enseignement - on se rappellera les systèmes *PLATO*, *TICCIT*, *CCC*, ... décrits dans le chapitre 1 - la philosophie *IMAGO* propose une solution complète. Le professeur J.C. SIMON, chargé par le Président de la République Française d'une mission d'information sur l'E.A.O. écrivait d'ailleurs à ce propos dans une lettre adressée au professeur JONES, responsable du projet *IMAGO* : "... j'ai apprécié vos idées avec lesquelles je n'étais pas assez familier. Vous avez tout à fait raison dans vos efforts d'évaluation des élèves en E.A.O. C'est peut-être l'aspect le plus important et intéressant". L'état de réalisation actuel des outils ne permet pas la prise en compte de tous les aspects proposés, mais permet cependant de présager des aspects intéressants du système et d'esquisser quelques premières critiques.

Le frein du système réside dans la rédaction des cours multimedia. La rédaction des filières parallèles d'apprentissage demande un investissement important qui n'a son utilité que pour des cours stables, dont on sait qu'ils ne devront pas être adaptés voire réécrits avant un certain temps. Malgré son aspect fastidieux, cette rédaction comporte des aspects très enrichissants. Elle oblige la définition de conditions d'initialisation et d'objectifs terminaux en termes d'aptitude et de performance et va donc dans le sens d'une évaluation plus objective. Elle oblige le professeur à maîtriser le cours dans son ensemble, d'en comprendre les imbrications, ce dont l'étudiant ne saurait que profiter.

La partie gestion proprement dite n'est actuellement pas opérationnelle. Elle se heurte à des problèmes importants pour lesquels il ne faut pas attendre de solutions immédiates. Néanmoins, l'estimateur de la créativité existe et s'est avéré être un outil très pertinent. Le modèle de gestion proposé a été testé dans le but de se rendre compte s'il était applicable. Ce qui fut le cas avec certaines réserves mais avec suffisamment de succès pour justifier la poursuite de la mise au point des outils d'évaluation des diverses aptitudes. La complexité des problèmes rencontrés pour la mise au point de ces outils - dont on peut, par ailleurs, se poser la question de l'existence - peut laisser perplexe. A cela, on peut répondre que l'outil supportant l'évaluation de la créativité-STIM 5-existe.

Il ressort d'une étude statistique comparative entre les résultats d'étudiants ayant choisi la méthode *IMAGO* et d'étudiants ayant choisi le cours magistral que pour un cours magistral de 60 heures, une présence de 30 heures au cours multimedia assure dans plus de 90 % des cas la réussite à un examen classique de fin d'année.

De plus, une étude faite en 1973 concluait que pour 35 élèves, les coûts de l'utilisation de la méthode *IMAGO* étaient semblables aux coûts d'un enseignement classique. Une actualisation en 1978 ramenait ce nombre à 25 suite à la baisse généralisée des coûts du matériel informatique.

## CHAPITRE 3 : Vers l'évaluation de l'aptitude à la déduction logique (D).

1. Le jeu de Mastermind, un outil intéressant ?
2. Une formalisation du jeu de Mastermind.
  21. Description et notations.
  22. L'erreur de déduction logique dans le jeu de Mastermind.
    221. Définition de l'erreur de déduction logique.
    222. Comment détecter une erreur de déduction logique ?
    223. La cause de cette erreur pour permettre une évaluation.
3. Un outil général pour évaluer l'aptitude à la déduction logique.
  31. Limitations.
  32. Définitions et hypothèses de travail.
    321. Une formalisation de la logique test.
    322. Définition de l'erreur de déduction logique.
    323. Evaluation de la gravité de l'erreur.
      - Enoncé du problème;
      - Formalisation en termes de la théorie des graphes;
      - Résolution du problème :
        - simplification du problème,
        - un premier algorithme,
        - algorithme perfectionné : + récursif,
          - + non récursif,
        - formalisation sous forme de programmation linéaire en nombres entiers.
  33. Description générale de l'outil.

### 1. Le jeu de Mastermind, un outil intéressant ?

Comme nous l'avons vu dans le deuxième chapitre, le système éducatif dont la méthode *IMAGO* se propose d'optimiser l'utilisation est un système à quatre composantes : l'état de l'élève, les objectifs, les media et les modes d'enseignement.

Pour rendre à cet objectif une dimension raisonnable, certaines simplifications ont été envisagées. L'état de l'élève par exemple est limité dans une première étape à 8 caractéristiques dont les interactions sont ignorées. Nous allons, dans ce chapitre, tenter une approche du problème complexe de l'évaluation des différentes caractéristiques de l'élève et plus particulièrement de celle qui doit être le reflet de sa capacité de déduction logique.

Le jeu de Mastermind semble être un outil intéressant pour estimer la capacité de déduction logique du joueur. Le but du jeu est d'amener un des deux joueurs à découvrir un élément  $s_*$  de  $S$  choisi par l'adversaire. Les variantes du jeu diffèrent par la structure et le nombre d'éléments de  $S$ . La plus répandue est la suivante :

$S$  est défini comme l'ensemble de tous les arrangements qu'il est possible de construire en choisissant avec répétition quatre couleurs parmi six;  $S$  contient donc  $6^4 = 1\ 296$  éléments.

Pour trouver cet élément  $s_* = (s_*^1, s_*^2, s_*^3, s_*^4)$  de  $S$ , le joueur choisit au premier coup un élément  $s_1 = (s_1^1, s_1^2, s_1^3, s_1^4)$  dans  $S$ . Le partenaire répond en donnant le point  $p_1 = (\alpha_1, \beta_1)$  où  $\alpha_1$  est le nombre d'éléments de  $s_1$  se trouvant dans  $s_*$  à la même place;

$\beta_1$  est tel que  $\alpha_1 + \beta_1$  est le nombre d'éléments de  $s_1$  se trouvant dans  $s_*$  à une place quelconque.

On a donc  $\alpha_1 + \beta_1 \leq 4$ .

Par exemple, pour  $s_* = (J, V, V, R)$ ,

$s_1 = (J, R, V, G)$  donne le point  $p_1 = (2, 1)$ ,

$s_2 = (R, V, R, J)$  donne le point  $p_2 = (1, 2)$ ,

$s_3 = (V, V, G, V)$  donne le point  $p_3 = (1, 1)$ ,

etc.

Le joueur choisit au deuxième coup  $s_2$  dans  $S$ . Le partenaire répond en donnant

$p_2 = (\alpha_2, \beta_2)$  déterminé de manière analogue. Le jeu se termine lorsque le joueur a découvert  $s_{**}$ . Il est clair qu'à chaque tentative, le joueur se sert des coups formulés précédemment et des réponses obtenues à chacun de ceux-ci pour découvrir en un nombre minimum de coups l'élément  $s_{**}$  choisi par le partenaire.

L'objectif pédagogique de ce type de jeu est d'entraîner l'esprit du joueur à la déduction logique et à la notion de stratégie. En effet, il s'agira pour lui de retirer l'information maximale des réponses antérieures du partenaire afin de ne pas proposer de coup inutile (déduction logique). La notion de stratégie correspond à une analyse prévisionnelle du futur avec pour but le choix des coups apportant un maximum d'information (stratégie optimale au sens classique).

Il faut cependant préciser dès maintenant que le jeu de Mastermind doit être considéré comme un moyen dans la recherche d'un estimateur de la déduction logique et non comme une fin en soi. Une formalisation de celui-ci devrait permettre de proposer :

- une définition plus générale de "l'erreur de déduction logique";
- un outil suffisamment général pour permettre une certaine diversification des moyens d'estimation de la caractéristique D de l'état de l'O.H. en situation d'enseignement.

Il faut aussi se rendre compte que l'approche envisagée influencera le résultat, qu'elle limitera la généralisation. Il importe donc de considérer cet outil comme un premier pas. Cet outil, associé aux autres estimateurs déjà opérationnels, permettra plus qu'une individualisation de l'enseignement, une personnalisation de celui-ci.

Dans le but de faire progresser cet embryon de recherche, toutes les critiques accompagnées de contre-propositions constructives seront les bienvenues.

## 2. Une formalisation du jeu de Mastermind.

Dans un but de généralisation, nous allons proposer une formalisation du jeu de Mastermind. Dans le contexte ainsi défini, nous allons définir *l'erreur de déduction logique*, comment pouvoir la détecter et en analyser la cause.

21. Description et notations (VIAUD, D., 1979).

On dispose de deux ensembles finis  $S$  (ensemble des solutions possibles) et  $P$  (ensemble des points) ainsi que d'une application  $\mathcal{P}: S \times S \rightarrow P$  t.q.

$$1^\circ \mathcal{P}(s_1, s_2) = \mathcal{P}(s_2, s_1);$$

$$2^\circ \exists p_* \in P \text{ t.q. } \mathcal{P}(s_1, s_2) = p_* \Leftrightarrow s_1 = s_2.$$

Cette application associe au couple  $(s_1, s_2)$  le point  $p = \mathcal{P}(s_1, s_2)$  obtenu en proposant  $s_1$  alors que  $s_2$  est la solution choisie.

Le jeu consiste à découvrir un élément  $s_*$  de  $S$  choisi par l'adversaire en utilisant à chaque essai les points obtenus lors des essais précédents ainsi que la fonction  $\mathcal{P}$  qui est entièrement connue.

Exemple :

Soit trois couleurs B.J.N.

Deux sont à choisir et à mettre dans le bon ordre.

L'application  $\mathcal{P}: S \times S \rightarrow P$  est définie par le tableau suivant :

	BB	JB	NB	BJ	JJ	NJ	BN	JN	NN
BB	2,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
JB	1,0	2,0	1,0	0,2	1,0	0,1	0,1	1,0	0,0
NB	1,0	1,0	2,0	0,1	0,0	1,0	0,2	0,1	1,0
BJ	1,0	0,2	0,1	2,0	1,0	1,0	1,0	0,1	0,0
JJ	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	1,0	0,0	1,0	0,0
NJ	0,0	0,1	1,0	1,0	1,0	2,0	0,1	0,2	1,0
BN	1,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,1	2,0	1,0	1,0
JN	0,0	1,0	0,1	0,1	1,0	0,2	1,0	2,0	1,0
NN	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	2,0

Tableau 1.

On a bien que : 1°  $\mathcal{P}(s_1, s_2) = \mathcal{P}(s_2, s_1)$  (symétrique)  
 2°  $\exists p_* = (2, 0) \in P$  t.q.  $\mathcal{P}(s_1, s_2) = p_* \Leftrightarrow s_1 = s_2$  (sur la diagonale)

Pour  $s \in S$  et  $p \in P$ , on définit une application  $\mathcal{P}^{-1}$  de  $S \times P \rightarrow \Sigma$  en posant  
 $\mathcal{P}_s^{-1}(p) = \{\sigma \in S \mid \mathcal{P}(s, \sigma) = p\}$  où  $\Sigma$  est l'ensemble des parties de  $S$ .

Pour  $s$  fixé et  $p$  variant, ces ensembles constituent une partition de  $S$ . En effet,

1°  $\mathcal{P}_s^{-1}(p) \neq \emptyset$  car  $s_*$  appartient à cet ensemble;

2°  $\forall s \in S, S = \bigcup_{p \in P} \mathcal{P}_s^{-1}(p);$

3°  $\forall s \in S, \forall p \neq p' \in P, \mathcal{P}_s^{-1}(p) \cap \mathcal{P}_s^{-1}(p') = \emptyset.$

Le choix d'une valeur particulière  $s_1$  détermine une partition de l'ensemble  $E_0 = S$ . La réponse  $p_1$  de l'adversaire précise dans quel élément de cette partition se trouve l'élément cherché  $s_*$ .

$$s_1, p_1 \Rightarrow s_* \in \mathcal{P}_{s_1}^{-1}(p_1)$$

Au  $n^{\text{ième}}$  coup, le choix d'une valeur  $s_n$  détermine une partition de l'ensemble

$E_{n-1} = \bigcap_{i=1}^{n-1} \mathcal{P}_{s_i}^{-1}(p_i)$ . La réponse  $p_n$  de l'adversaire précise dans quel élément de

cette partition se trouve l'élément cherché  $s_*$ .

$$s_n, p_n \Rightarrow s_* \in E_{n-1} \cap \mathcal{P}_{s_n}^{-1}(p_n) = E_n$$

ce qui donne dans notre exemple :  $\mathcal{P}^{-1} : S \times P \rightarrow \Sigma$ , décrit dans le tableau 2.

Le choix par exemple de l'élément  $s_1 = NJ$  détermine la partition définie à la sixième ligne du tableau 2 (voir page suivante).

La réponse  $p_1 = (1, 0)$  de l'adversaire précise que la solution

$$s_* \in \mathcal{P}_{NJ}^{-1}(1, 0) = \{NB, BJ, JJ, NN\}$$

Le choix comme deuxième proposition de  $s_2 = BJ$  détermine la partition suivante de  $\mathcal{P}_{NJ}^{-1}(1, 0)$  :

0,0	0,1	1,0	2,0
NN	NB	JJ	BJ

	0,0	0,1	1,0	0,2	2,0
BB	JJ JN NJ NN		JB NB BJ BN		BB
JB	NN	NJ BN	BB NB JJ JN	BJ	JB
NB	JJ	BJ JN	BB JB NJ NN	BN	NB
BJ	NN	NB JN	BB JJ NJ BN	JB	BJ
JJ	BB BN NB NN		JB BJ NJ JN		JJ
NJ	BB	JB BN	NB BJ JJ NN	JN	NJ
BN	JJ	JB NJ	BB BJ JN NN	NB	BN
JN	BB	NB BJ	JB JJ BN NN	NJ	JN
NN	BB BJ JB JJ		NB NJ BN JN		NN

Tableau 2.

La réponse  $p_2 = (1, 0)$  de l'adversaire précise que

$$s_* \in \mathcal{P}_{NJ}^{-1}(1, 0) \cap \mathcal{P}_{BJ}^{-1}(1, 0) = \{JJ\}$$

La valeur de la partition reflète la "valeur" du choix de  $s_n$  comme  $n^{\text{ième}}$  coup. On s'arrête lorsque l'on a trouvé  $s_*$ .

## 22. L'erreur de déduction logique dans le jeu de Mastermind.

221. Définition : Désignons par

$$E_{n-1} = \bigcap_{i=1}^{n-1} \mathcal{P}_{s_i}^{-1}(p_i)$$

l'ensemble des éléments de  $S$  qui sont encore envisageables en tant que solution possible vu les informations dont on dispose après les  $n-1$  premiers essais.

Si  $s_n$  est tel que s'il partitionne l'ensemble  $S$ , il ne partitionne pas l'ensemble  $E_{n-1}$ , alors il existe une valeur  $p = p_n \in P$  t.q.  $\forall s \in E_{n-1} \mathcal{P}(s_n, s) = p_n$ . Le

point  $p_n$  donné par l'adversaire en réponse à l'essai  $s_n$  aurait pu être déduit des coups précédents et des réponses à chacun de ceux-ci.

On a donc dans le sens du jeu proposé un coup qui ne nous apporte aucune nouvelle information. On a donc commis un *manque de déduction* ou si l'on veut une *erreur de déduction logique*.

222. Détection d'une erreur de déduction logique.

$$E_0 = S,$$

$$E_n = E_{n-1} \cap \mathcal{P}_{s_n}^{-1}(p_n)$$

Si  $s_n$  est tel que  $E_n = E_{n-1}$ , alors

- 1° on a détecté une erreur de déduction logique,
- 2°  $(s_n, p_n)$  déductible de  $\bigcap_{i=1}^{n-1} (s_i, p_i)$

La détection des erreurs de déduction logique n'est pas une fin en soi. Elle doit permettre un dialogue instructif pour le joueur. Une meilleure information doit pouvoir être trouvée.

223. Recherche de la cause de l'erreur.

La détection de l'erreur de déduction logique est un premier pas vers l'évaluation de D. Pour permettre de pondérer cette erreur, il faut trouver les éléments qui sont la cause de cette erreur de déduction.

Pour pouvoir fournir cette information, il faut résoudre le problème suivant :

$$\text{Si } s_n \text{ est tel que } \bigcap_{i=1}^n \mathcal{P}_{s_i}^{-1}(p_i) = \bigcap_{i=1}^{n-1} \mathcal{P}_{s_i}^{-1}(p_i)$$

$$I = \{1, \dots, n-1\}$$

$$\text{Trouver } I_0 \subseteq I \text{ t.q. } \mathcal{P}_{s_n}^{-1}(p_n) \cap \bigcap_{i \in I_0} \mathcal{P}_{s_i}^{-1}(p_i) = \bigcap_{i \in I_0} \mathcal{P}_{s_i}^{-1}(p_i)$$

#  $I_0$  minimum.

On aura alors  $(s_n, p_n)$  déductible de  $\bigcap_{i \in I_0} (s_i, p_i)$ , ce qui qualitativement est une information meilleure que  $(s_n, p_n)$  déductible de  $\bigcap_{i=1}^{n-1} (s_i, p_i)$ . Cette information est l'outil véritable qui doit permettre de mesurer D.

### 3. Un outil général pour évaluer l'aptitude à la déduction logique.

L'outil que nous allons proposer est une généralisation du cas du Mastermind. Le but de cette généralisation est double : d'abord étendre l'ensemble des coups permis, ensuite proposer un outil paramétrable en vue d'étendre l'ensemble des applications.

#### 31. Limitations.

Cet outil étant entièrement déterministe, il faut remarquer que son élaboration a été possible parce qu'il existe des relations de cause à effet parfaitement explicites entre les réponses aux propositions et l'ensemble des solutions; c'est-à-dire que la réponse à une proposition ne réorganise pas le champ des solutions suivant des nouvelles probabilités, mais permet d'infirmier définitivement certaines de celles-ci.

Si la généralisation proposée ne permet pas de tester l'étudiant suivant une logique quelconque, elle permet cependant la prise en compte d'un nombre suffisamment important d'exemples pour lui permettre de choisir. Elle permet donc de repousser les limites de l'effet de saturation. Cet outil doit être considéré comme tel; son efficacité dépendra de la qualité des logiques testées et de leur adéquation au profil de l'étudiant.

#### 32. Définitions et hypothèses de travail.

L'objectif général est de permettre une évaluation de l'esprit de déduction logique de l'étudiant pour permettre, dans le contexte de la méthode IMAGO, une personnalisation de l'enseignement.

La méthode adoptée consiste à analyser le raisonnement propre de l'étudiant. Le dialogue s'effectue entre trois interlocuteurs : l'étudiant, l'ordinateur et la logique de référence. La logique de référence a un rôle passif (elle fournit les résultats aux propositions de solutions), l'étudiant et l'ordinateur jouent des rôles symétriques (ils discutent et analysent la logique de l'étudiant comparativement à la logique de référence).

### 321. Une formalisation de la "logique test".

On dispose de trois ensembles finis :

$S$  = ensemble des solutions possibles,

$R$  = ensemble des propositions possibles tel que  $S \subseteq R$ ,

$P$  = ensemble des points.

$R$  pourra par exemple être composé à la fois de l'ensemble des solutions possibles du test et de l'ensemble des propriétés significatives de  $S$ . Si  $S$  est l'ensemble des figures géométriques,  $R$  sera composé en plus de  $S$  de l'ensemble des propriétés de ces figures (posséder un angle droit, avoir tous ses côtés égaux, avoir trois côtés, ...).

On dispose également d'une application  $\mathcal{P}$  de  $R \times S \rightarrow P$  telle que :

$$\mathcal{P}(s_i, s_j) = \mathcal{P}(s_j, s_i) \quad \forall s_i, s_j \in S$$

$$\exists p^* \in P \text{ t.q. } \mathcal{P}(s_i, s_j) = p^* \Leftrightarrow s_i = s_j,$$

et d'une application  $\mathcal{P}^{-1}$  de  $R \times P \rightarrow \Sigma$  où  $\Sigma$  est l'ensemble des parties de  $S$  et telle que :

$$\mathcal{P}_r^{-1}(p) = \{\sigma \in S \mid \mathcal{P}(r, \sigma) = p\} \quad \forall r \in R$$

$$\forall p \in P$$

Une logique permettant une description de ce type peut servir de support au test et permettre après expérimentation, l'évaluation de l'esprit de déduction logique de l'étudiant en regard de celle-ci. On se rappellera l'exemple du jeu de Mastermind.

### 322. Définition de l'erreur de déduction logique.

Pour tester l'étudiant, on va lui demander de découvrir un élément  $s_x$  choisi aléatoirement dans  $S$ . A chaque proposition  $r_i$  de celui-ci, l'ordinateur

lui fournit le point  $p_i = \mathcal{P}(r_i, s_*)$ . Pour trouver la solution  $s_*$ , l'étudiant se sert des propositions antérieures  $r_i$  et des réponses  $p_i$  à chacune de celles-ci, ainsi que de la fonction  $\mathcal{P}$  qui est entièrement connue.

Soit  $E_0 = S$

$$E_{n-1} = \bigcap_{i=1}^{n-1} \mathcal{P}_{r_i}^{-1}(p_i) \quad \begin{array}{l} r_i \in R \\ p_i \in P \end{array}$$

Si  $r_n$  est tel que  $E_n = E_{n-1}$ , alors  $(r_n, p_n)$  déductible de  $\bigcap_{i=1}^{n-1} (r_i, p_i)$  et l'étudiant a commis une erreur de déduction logique.

L'erreur de déduction logique, telle que nous venons de la définir est une ERREUR DE REDONDANCE. C'est ce seul type d'erreur que nous testons actuellement. Des extensions sont envisagées, elles doivent aboutir à la prise en compte de l'erreur qui consiste à énoncer une proposition non significative ou à ne pas respecter de hiérarchie logique dans la succession des propositions (du général au particulier), etc.

### 323. Evaluation de la gravité de l'erreur.

#### 1. Enoncé du problème.

Pour permettre une pénalisation proportionnelle à l'erreur de déduction commise, il faut pouvoir trouver la cause de celle-ci ou si l'on veut, résoudre le problème suivant :

$$\text{Si } r_n \text{ est tel que } \bigcap_{i=1}^n \mathcal{P}_{r_i}^{-1}(p_i) = \bigcap_{i=1}^{n-1} \mathcal{P}_{r_i}^{-1}(p_i)$$

$$I = \{1, \dots, n-1\}$$

Trouver  $I_0 \subseteq I$  tel que

$$1^\circ \mathcal{P}_{r_n}^{-1}(p_n) \cap \left( \bigcap_{i \in I_0} \mathcal{P}_{r_i}^{-1}(p_i) \right) = \bigcap_{i \in I_0} \mathcal{P}_{r_i}^{-1}(p_i)$$

2°  $I_0$  minimal.

L'analyse de  $I_0$  permettra une pénalisation proportionnelle à la gravité de l'erreur de déduction.

Par exemple si  $\# I_0 < \# I'_0$ , l'erreur de déduction associée à  $I_0$  est plus grave que celle associée à  $I'_0$ .

## 2. Formalisation en termes de la théorie des graphes.

Essayons de placer ce problème dans le contexte de la théorie des graphes, ce qui nous permettra peut-être de trouver une solution à celui-ci.

Supposons  $(r_n, p_n)$  déductible de  $\bigcap_{i=1}^{n-1} (r_i, p_i)$  et désignons par :

$X_n = \{(r_i, p_i) \mid i = 1, 2, \dots, n-1\}$  l'ensemble des  $(n-1)$  premiers coups joués et les réponses obtenues à chacun de ceux-ci;

$$Y_n = S - \mathcal{P}_{r_n}^{-1}(p_n)$$

$$= \{s_i \in S \text{ t.q. } \mathcal{P}(r_n, s_i) \neq p_n\}$$

l'ensemble des éléments de  $S$  que le  $n^{\text{ième}}$  coup permet d'éliminer de l'ensemble  $S$  si ce coup est joué en premier lieu.

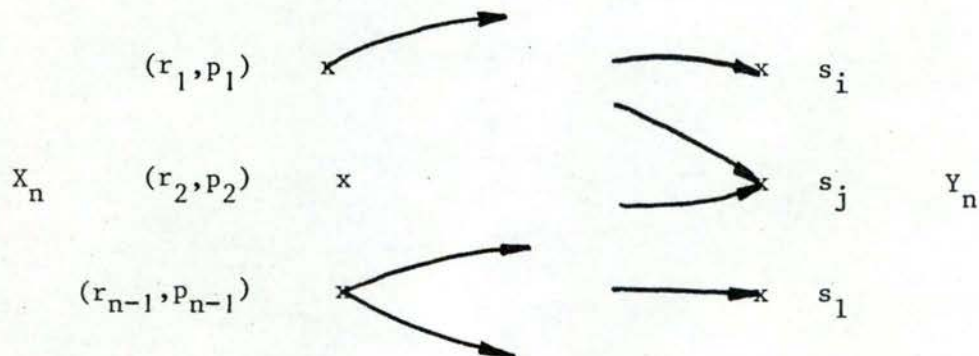
Considérons le graphe biparti  $G_n = (X_n, Y_n, \Gamma)$  tel que :

$$\Gamma(r_i, p_i) = \{s \in Y_n \text{ t.q. } \mathcal{P}(r_i, s) \neq p_i \text{ si } (r_i, p_i) \in X_n\}.$$

Le graphe  $G_n$  est un graphe biparti tel que :

$$\forall s_i \in Y_n \exists (r_j, p_j) \in X_n \text{ t.q. } \Gamma(r_j, p_j) = s_i$$

(démonstration évidente)



Par définition, tout sous-ensemble  $E$  de  $X_n$  vérifiant

$$\bigcup_{x \in X_n} \Gamma(x) = Y_n$$

est appelé couverture de  $Y_n$ . Une couverture minimale est une couverture dont aucun des sous-ensembles stricts n'est une couverture. Lorsque à chaque élément  $x$  de  $X_n$ , on associe un poids  $P(x)$ , on appellera poids d'une couverture  $E$  la quantité  $P(E) = \sum_{x \in E} P(x)$ .

Si on définit  $P(r_n, p_n) = 1 \forall (r_n, p_n) \in X_n$ , le problème de la recherche de la cause de l'erreur s'énonce :

Etant donné que  $\{\Gamma(r_i, p_i)\}_{i \in X_n}$  est une couverture de  $Y_n$ , trouver un sous-ensemble  $X_0$  de  $X_n$  t.q.  $\{\Gamma(r_i, p_i)\}_{i \in X_0}$  soit une couverture minimale de poids minimum de  $Y_n$ .

### 3. Résolution du problème de la recherche de la cause de l'erreur.

#### a. PREMIERE SIMPLIFICATION DU PROBLEME.

On va d'abord limiter le nombre de colonnes en remarquant que si deux colonnes sont identiques, alors elles peuvent être fusionnées en une seule sans compromettre le solutionnement.

La solution du problème obtenue par cette réduction est identique à celle du problème initial. Il restera alors au maximum  $2^{n-1} - 1$  colonnes où  $n$  est le nombre de coups joués jusqu'à présent et tel que le  $n^{\text{ième}}$  est déductible des précédents.

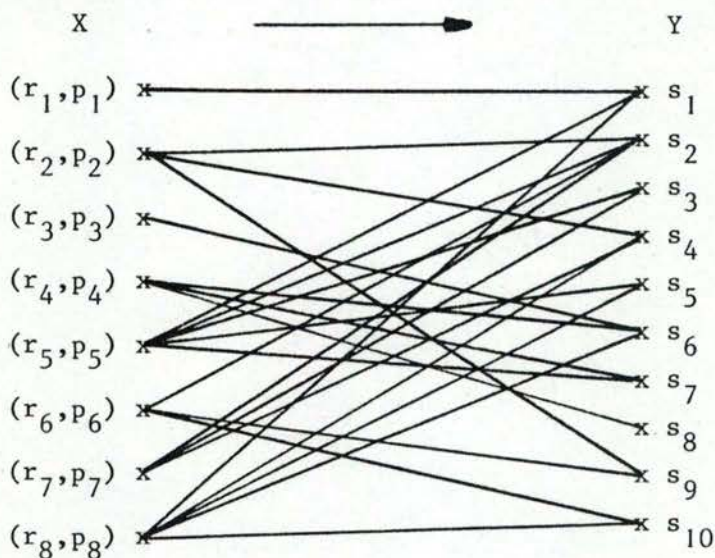
Exemple :

		$Y_n$								
		$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$	$s_7$	$s_8$	$s_9$
$X_n$	$(r_1, p_1)$	1	0	1	1	1	1	0	1	0
	$(r_2, p_2)$	0	1	0	1	0	0	1	0	0
	$(r_3, p_3)$	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	$(r_4, p_4)$	1	0	1	1	1	1	0	1	0
	$(r_5, p_5)$	0	0	0	0	0	1	0	0	1

		Y				
		$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$
X	$(r_1, p_1)$	1	0	1	1	0
	$(r_2, p_2)$	0	1	1	0	0
	$(r_3, p_3)$	0	0	0	0	1
	$(r_4, p_4)$	1	0	1	1	0
	$(r_5, p_5)$	0	0	0	1	1

### b. UN PREMIER ALGORITHME.

L'algorithme que nous allons définir est la généralisation de quelques simplifications élémentaires que nous allons illustrer à l'aide du graphe  $G = (X, Y, \Gamma)$  et d'un principe de décomposition que nous allons définir.



Le sommet  $s_8$  de Y ne possède aucun autre précédent que  $(r_4, p_4)$ . Il résulte de cette constatation que le sommet  $(r_4, p_4)$  doit appartenir à toutes les couvertures minimales de poids minimum. On peut se limiter à l'étude du graphe obtenu par l'enlèvement du sommet  $(r_4, p_4)$  et de ses successeurs.

Dans le graphe ainsi obtenu, le sommet  $(r_3, p_3)$  est isolé, ce qui signifie qu'il peut être retiré sans altérer en rien la solution étant donné qu'il n'appartiendra à aucune couverture minimale.

Il résulte de cette constatation que l'étude des couvertures minimales du graphe  $G$  se ramène à l'étude du sous-graphe :

$$\tilde{G} = (\tilde{X} = X - \{(r_3, p_3), (r_4, p_4)\}, \tilde{Y} = Y - \Gamma(r_4, p_4), \Gamma_{\tilde{X}})$$

Toute couverture minimale de ce graphe complétée par  $(r_4, p_4)$  constitue une couverture minimale du graphe  $G = (X, Y, \Gamma_X)$ .

Ce nouveau graphe  $\tilde{G} = (\tilde{X}, \tilde{Y}, \Gamma_{\tilde{X}})$  n'est plus simplifiable par les procédés élémentaires que nous venons de formuler. On peut cependant séparer l'ensemble des couvertures minimales de  $\tilde{Y}$  (et donc de  $Y$ ) en deux sous-ensembles disjoints obtenus selon qu'elles contiennent ou non un sommet déterminé de  $\tilde{X}$ . Dans notre exemple, l'acceptation ou le rejet du sommet  $(r_5, p_5)$  divise le problème en deux sous-problèmes à propos desquels les procédés élémentaires de simplification peuvent à nouveau être appliqués et ainsi de suite.

Il ne faut pas oublier que seules nous intéressent les couvertures minimales de poids minimum de  $Y$ .

Cette précision amène les remarques suivantes :

1. La procédure que nous allons définir va décrire une arborescence dont il ne sera pas nécessaire de décrire toutes les branches jusqu'au bout si on sait qu'aucune couverture minimale des poids minimum ne s'y trouve.
2. La qualité de l'algorithme dépendra surtout de la qualité du choix de l'élément qui servira à la séparation du problème en deux sous-problèmes.

Algorithme cherché : énumération des couvertures minimales de poids minimum dans un graphe simple  $G = (X, Y, \Gamma)$ .

On va d'abord simplifier le problème en utilisant la première simplification - on obtient alors comme représentation du graphe une matrice de la forme de celle décrite au tableau 3 et comprenant au plus  $2^{n-1} - 1$  colonnes différentes.

Pour trouver l'ensemble des couvertures minimales de poids minimum, on va séparer celui-ci en deux sous-ensembles selon qu'elles contiennent ou non un sommet défini de  $P$  (ceux qui ne sont ni adoptés ni rejetés sur base des simplifications élémentaires définies).

		Y					
		$s_1$	$s_2$	$s_3$	---	$s_{m-1}$	$s_m$
X	$(r_1, p_1)$				---		
	$(r_2, p_2)$				---		
	$(r_3, p_3)$				---		
					---		
	$(r_{n-2}, p_{n-2})$				---		
	$(r_{n-1}, p_{n-1})$				---		

Le principe de séparation décrit une procédure arborescente pour laquelle, à chaque sommet, on devra se poser les questions suivantes :

1° Décompose-t-on ?

a) Est-il possible de décomposer ?

Si l'ensemble  $P$  est vide, l'ensemble des sommets adoptés définit une couverture minimale de poids minimum.

b) Est-il intéressant de poursuivre ?

Si les couvertures minimales que la poursuite de la décomposition nous fournit ne sont pas de poids minimum, il est inutile de poursuivre la décomposition.

2° Si l'on décide de décomposer (possible et intéressant), nous devons choisir un critère de décomposition, soit  $p^* \in P$  ce sommet. Sur base de ce critère, nous allons décomposer le problème en deux-sous problèmes complémentaires caractérisés par l'acceptation ou le rejet de ce sommet.

3° On va analyser le sous problème induit par l'acceptation de ce sommet.

4° On va analyser le sous-problème induit par le rejet de ce sommet.

REMARQUES :

1° Le critère de choix du sommet séparateur peut absolument être quelconque mais va influencer la performance de l'algorithme; en effet, plus vite on trouvera la solution optimale, plus vite on suspendra la décomposition.

2° Un critère de choix intéressant serait : choix d'un des sommets  $p^*$  qui maximise le nombre

$$|\Gamma(p) \cap (Y - \Gamma(\text{l'ensemble des sommets acceptés alors}))|.$$

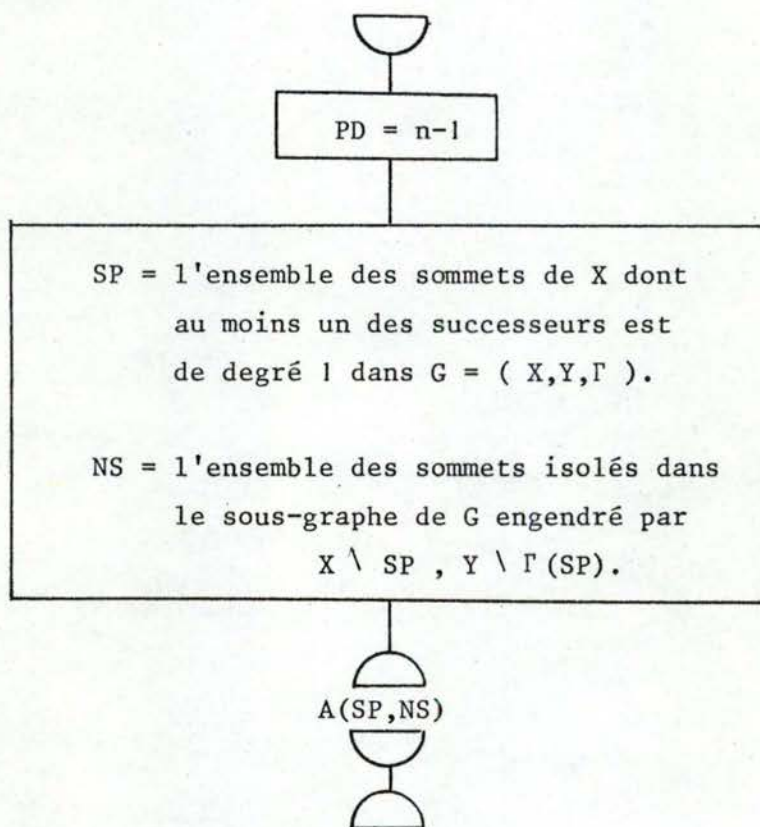
Description de l'algorithme :

L'algorithme que nous allons décrire est composé d'une procédure principale et d'une procédure récursive  $A(SP,NS)$  .

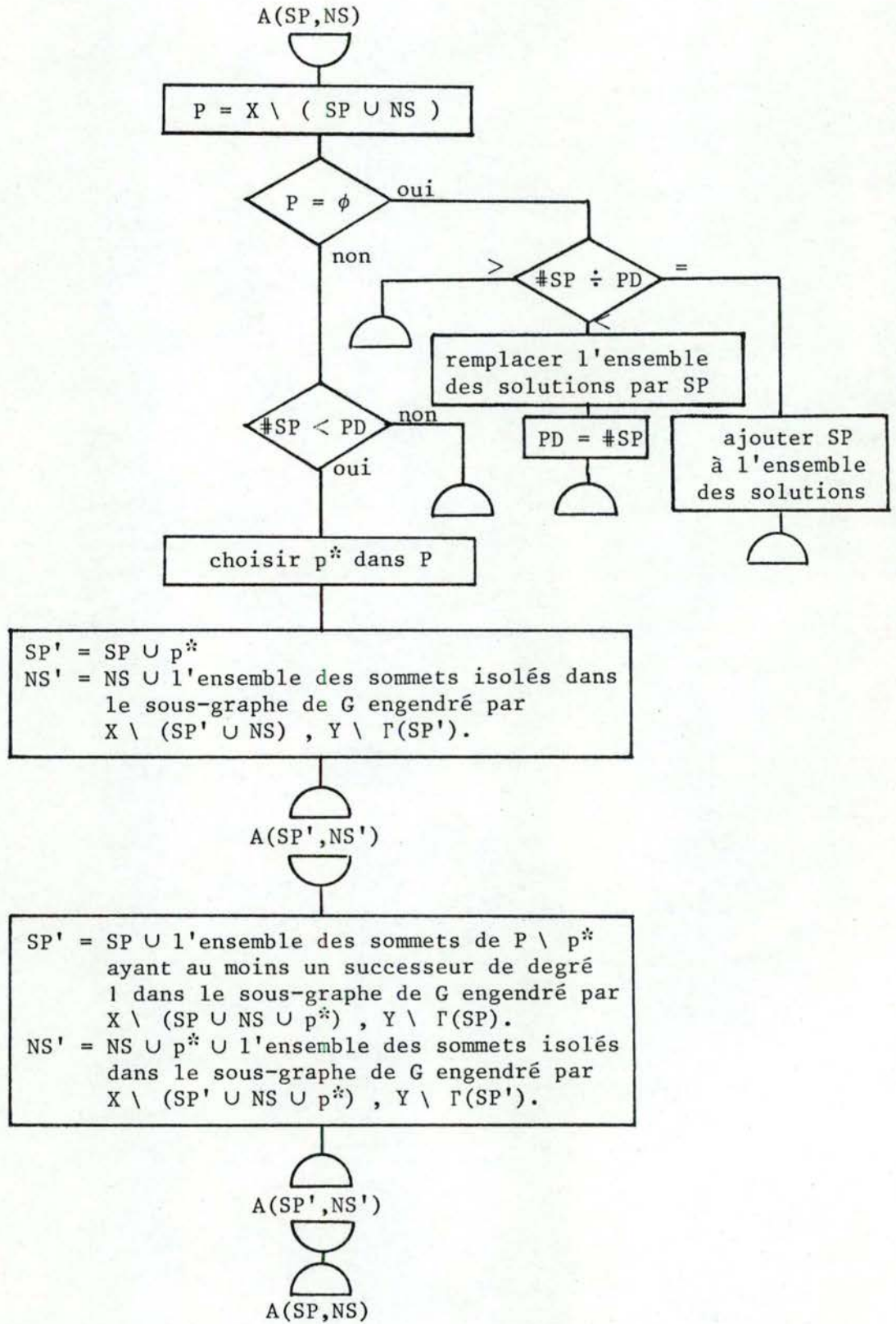
1° Procédure principale.

Cette procédure initialise les valeurs de  $PD$  ,  $SP$  ,  $NS$  avant d'appeler la procédure récursive.

$PD$  est le poids de la couverture minimale de poids minimum . Sa valeur est initialisée à  $n-1$ .



2° Procédure récursive  $A(SP,NS)$ .

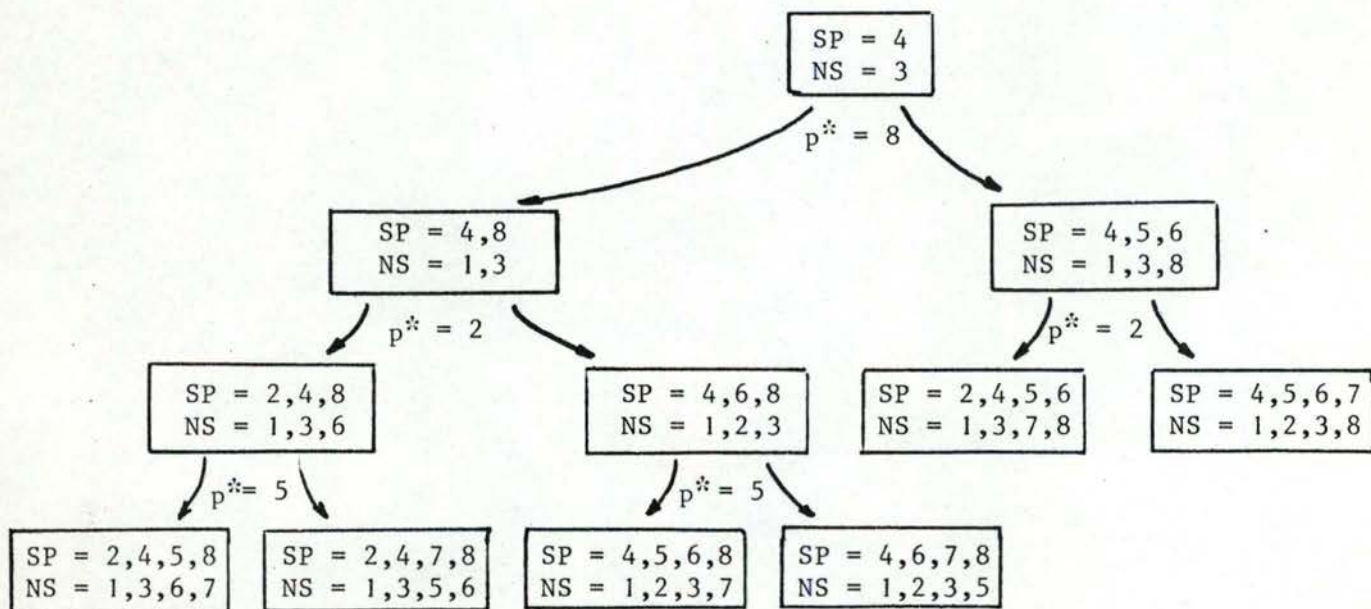


Illustrons par un exemple l'algorithme que nous venons de définir. Soit  $G = (X, Y, \Gamma)$  le graphe simple défini par la matrice suivante :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1									
2		1		1					1	
3						1				
4						1	1	1		
5	1	1	1		1		1			
6		1							1	1
7		1	1	1						
8	1			1	1	1				1

Tableau 3

L'arborescence décrite par les appels récursifs de la procédure  $A(SP, NS)$  est la suivante :



Les couvertures minimales de poids minimum correspondent aux feuilles de l'arborescence. Elles sont au nombre de six :

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. $r_2, r_4, r_5, r_8$ | 4. $r_4, r_6, r_7, r_8$ |
| 2. $r_2, r_4, r_7, r_8$ | 5. $r_2, r_4, r_5, r_6$ |
| 3. $r_4, r_5, r_6, r_8$ | 6. $r_4, r_5, r_6, r_7$ |

c. ALGORITHME PERFECTIONNE : énumération des couvertures minimales de poids minimum suivant deux critères de poids dans un graphe simple  $G = (X, Y, \Gamma)$ .

1. Remarques :

a) L'algorithme défini actuellement fournit toutes les couvertures minimales de poids minimum. Toutes ne nous intéressent pas; une seule, en effet, va servir de base au dialogue avec le joueur. Nous choisirons parmi les couvertures minimales de poids minimum celle qui est constituée des éléments les plus récents. On va donc être amené à comparer les couvertures minimales sur base de deux critères de poids P et Q.

b) Dans notre souci d'optimisation, on va choisir comme élément séparateur un élément qui va favoriser la découverte rapide de la solution.

2. Comparaison de deux couvertures minimales sur base de deux critères de poids P et Q.

- Soit E et F deux couvertures minimales;

- On dira que :

$$a. \underset{P,Q}{E} < \underset{def}{F} \leftrightarrow P(E) < P(F) \text{ ou } (P(E) = P(F) \text{ et } Q(E) < Q(F))$$

$$b. \underset{P,Q}{E} = \underset{def}{F} \leftrightarrow P(E) = P(F) \text{ et } Q(E) = Q(F)$$

$$c. \underset{P,Q}{E} \leq \underset{def}{F} \leftrightarrow \underset{P,Q}{E} < \underset{P,Q}{F} \text{ ou } \underset{P,Q}{E} = \underset{P,Q}{F}$$

- On définit le poids  $P(E)$  d'une couverture E comme étant égal au nombre d'éléments la composant :

$$P(E) = \# E$$

$$E = (r_3, r_6, r_8) \quad P(E) = 3$$

- On définit le poids  $Q(E)$  d'une couverture  $E$  comme étant égal à la somme des indices des éléments la composant :

$$E = (r_3, r_6, r_8) \quad Q(E) = 3 + 6 + 8 = 17$$

3. Nouvelle réponse à la question : est-il intéressant de poursuivre la décomposition ?

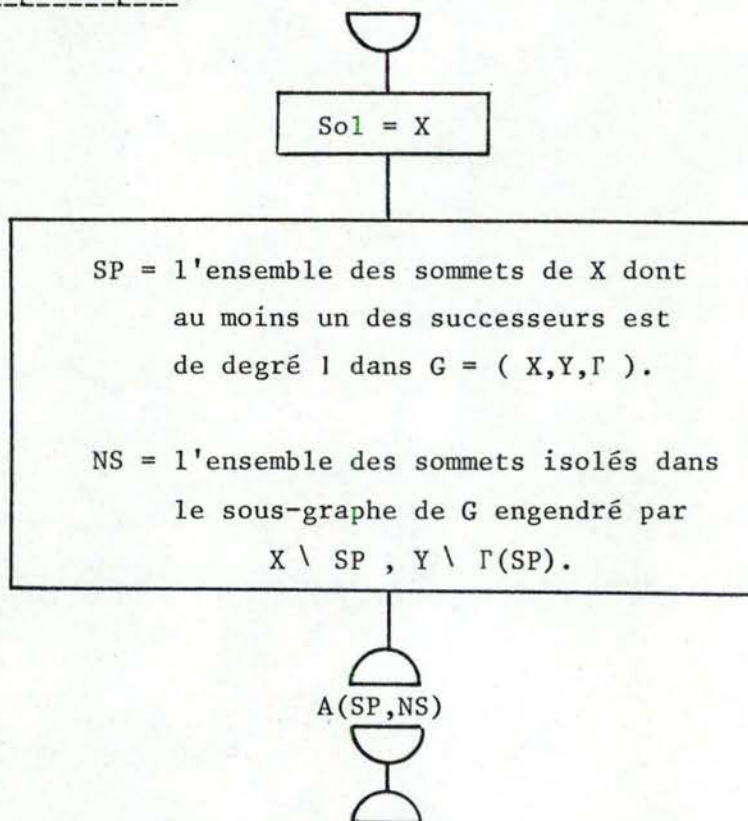
Si  $P(sol) \leq P(SP) \rightarrow$  suspendre la décomposition;  
 sinon - si  $sol \underset{P,Q}{\leq} SP \cup \tilde{p} \rightarrow$  suspendre la décomposition;  
 sinon, poursuivre la décomposition.  
 $\tilde{p}$  étant l'élément d'indice le plus élevé dans  $P$ .

4. Choix de l'élément séparateur.

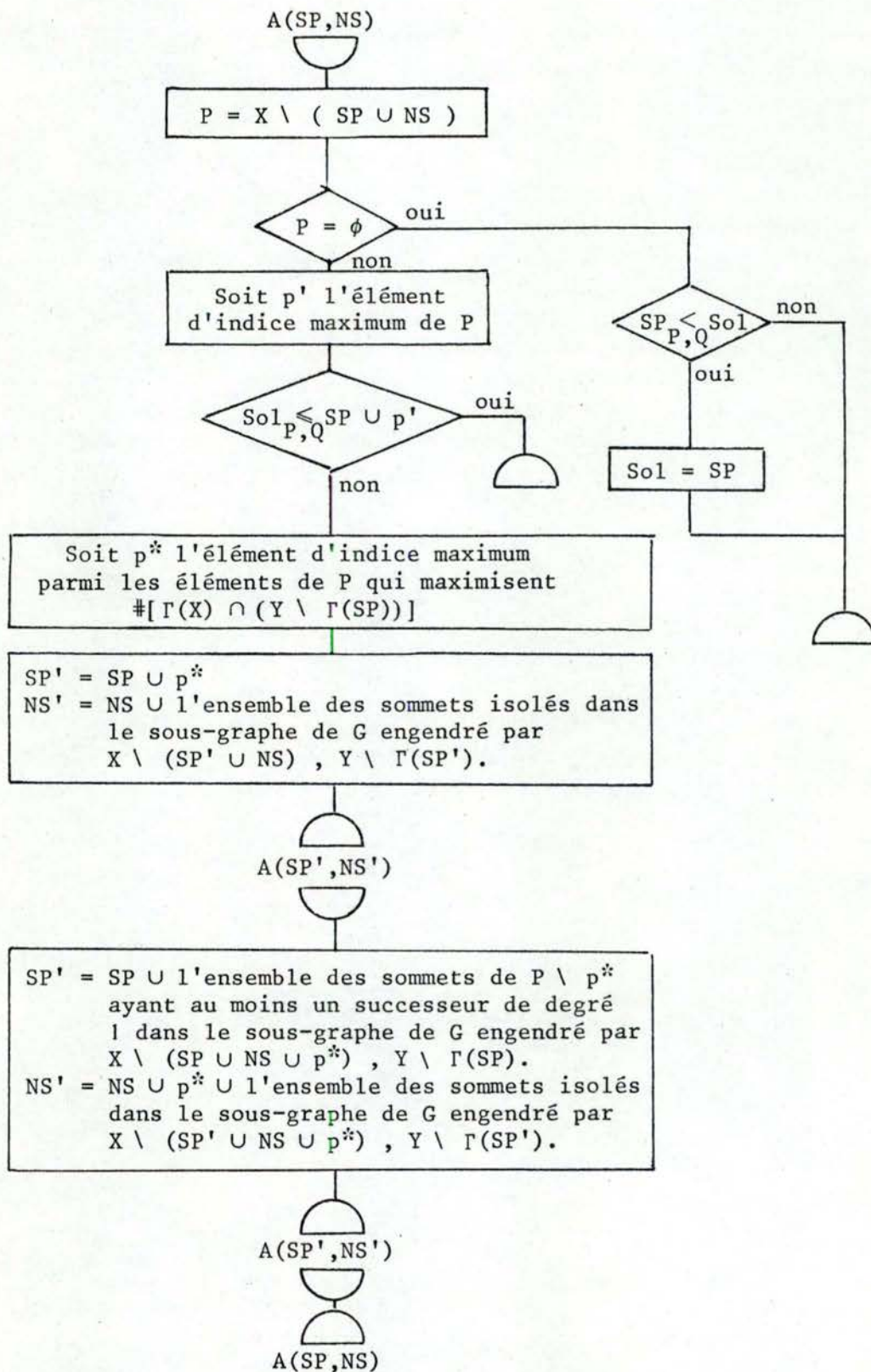
On choisira parmi les  $p \in P$  t.q.  $|\Gamma(p) \cap (Y - \Gamma(SP))|$  maximum celui d'indice maximum. Soit  $p^*$  cet élément.

5. Description de l'algorithme.

1° Procédure principale.

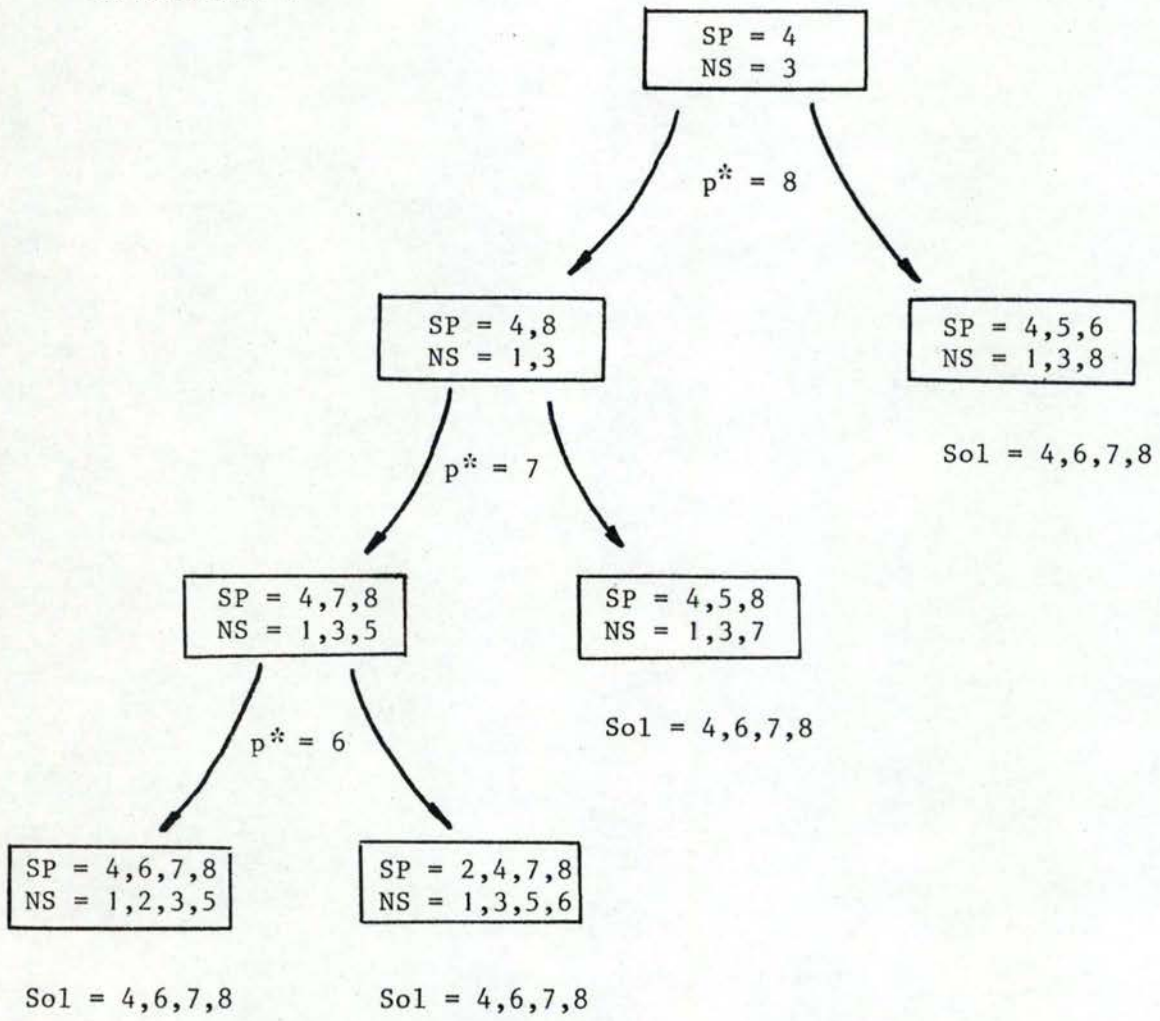


2° Procédure récursive  $A(SP,NS)$ .



Illustrons par un exemple l'algorithme que nous venons de perfectionner  
Soit G le graphe biparti défini par la matrice du tableau 3. Le problème consiste  
à découvrir la couverture minimale de poids minimum suivant les deux critères de  
poids P et Q définis précédemment.

L'arborescence décrite par les appels récursifs du nouvel algorithme est  
la suivante :

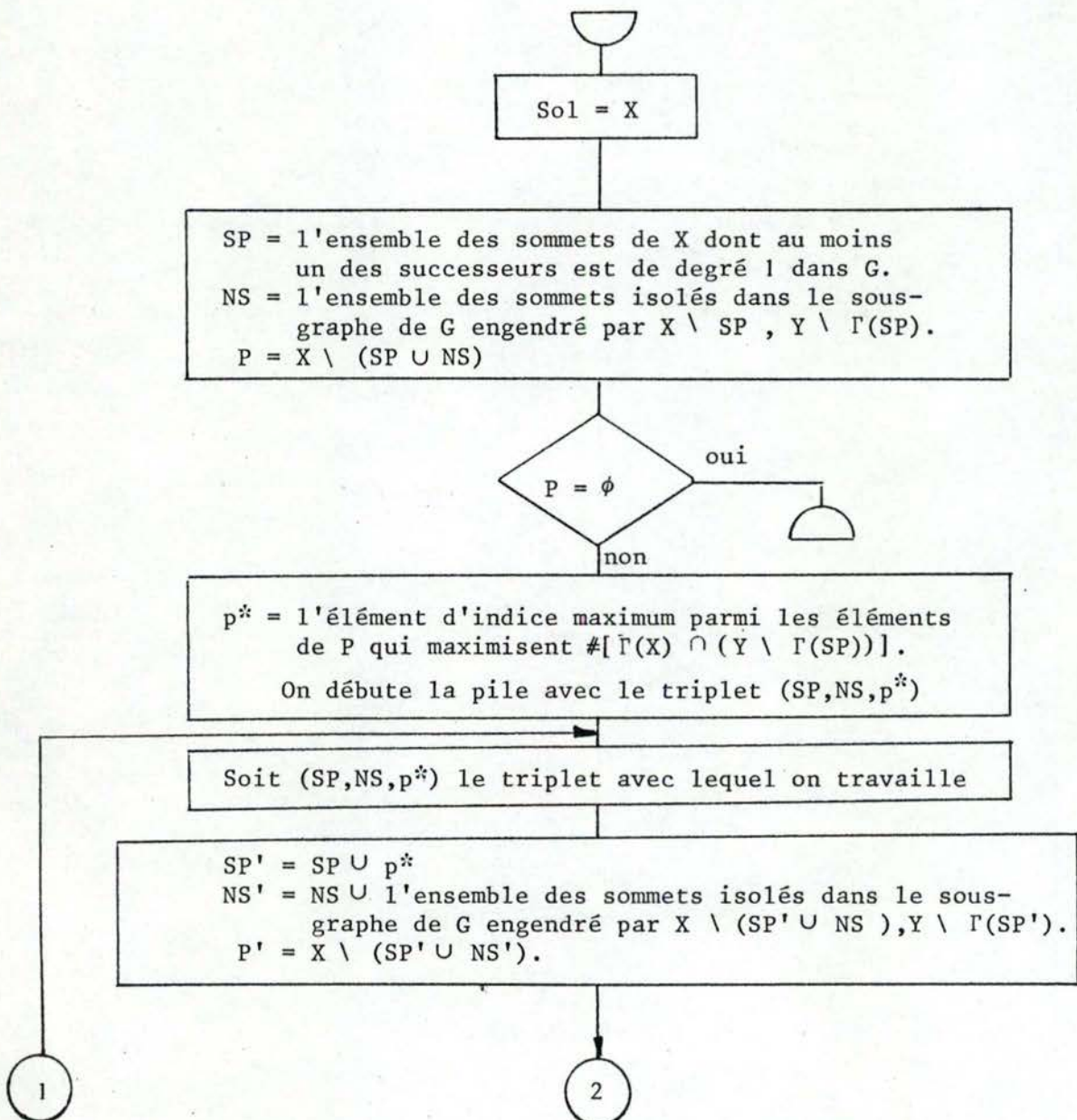


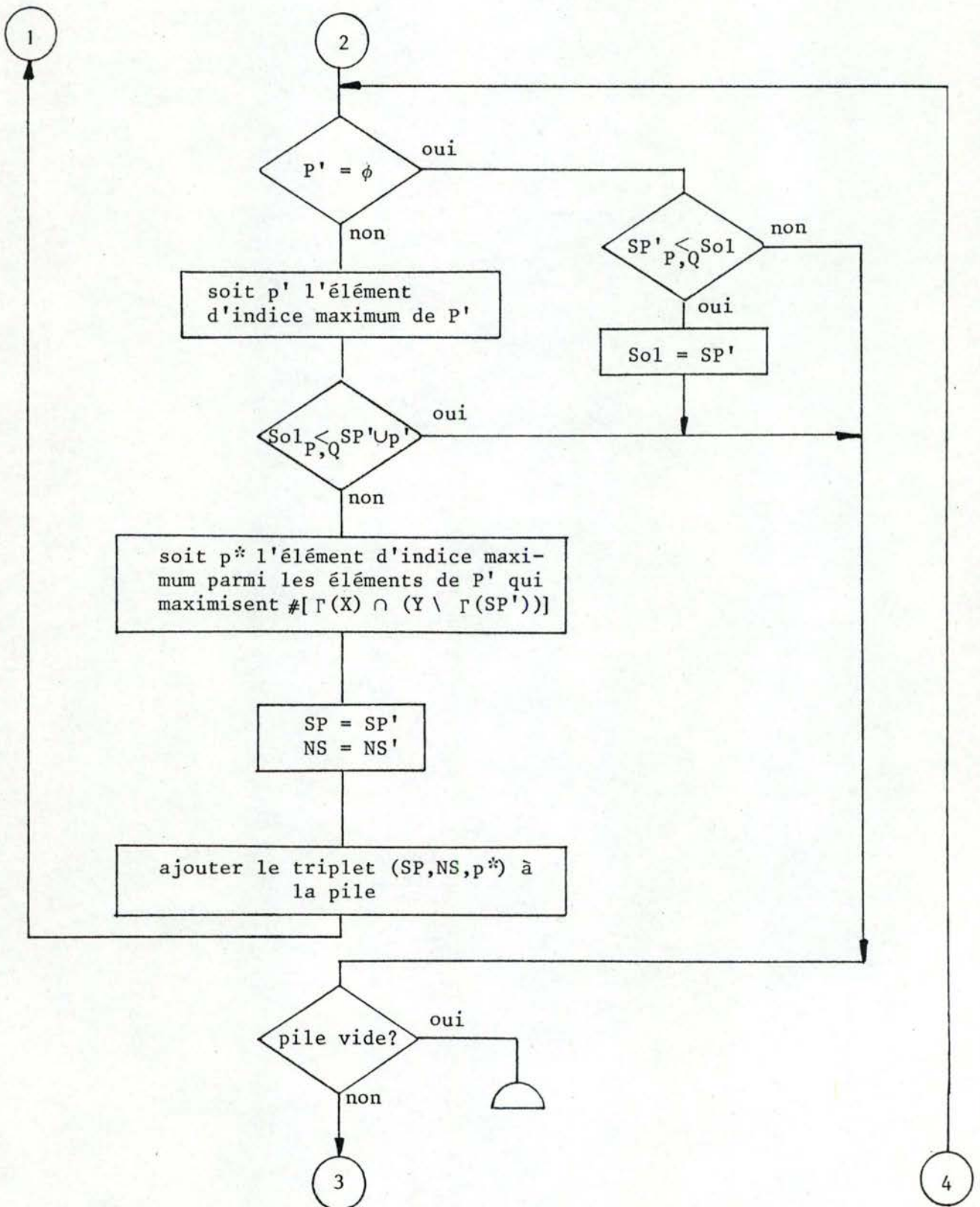
La solution du problème est donc :  $r_4, r_6, r_7, r_8$ .

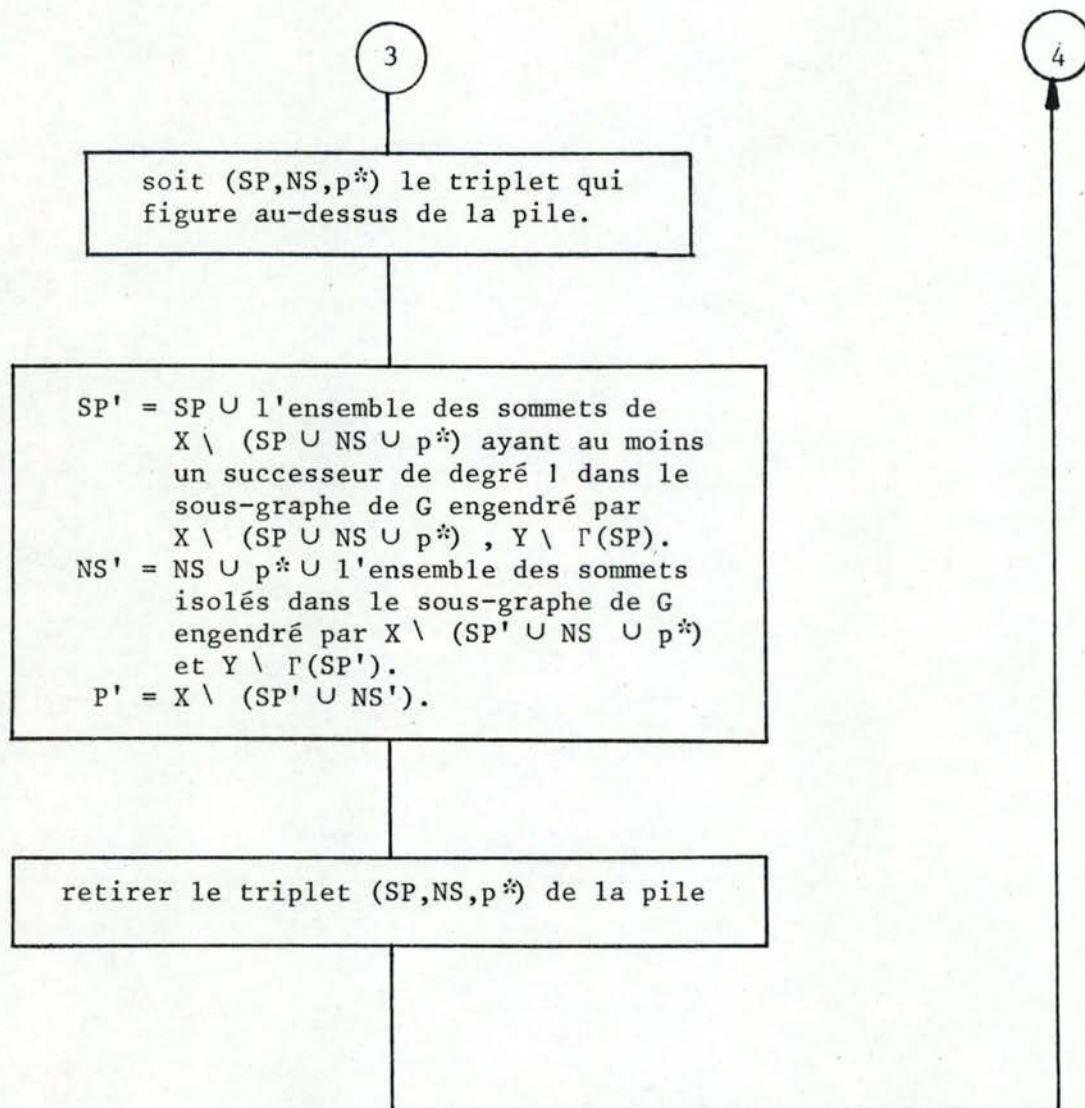
## 6. Suppression de la récursivité.

Cette transformation a pour but de permettre la programmation de l'algorithme dans un langage n'offrant pas cette commodité. La récursivité doit donc être gérée au niveau du programme grâce à l'utilisation d'une pile créée à cette fin.

L'algorithme devient :







## d. FORMALISATION EN TERMES DE PROGRAMMATION LINEAIRE EN NOMBRES ENTIERS.

1. Enoncé du problème.

Le problème de la recherche de la cause de l'erreur peut s'énoncer : étant donné un graphe biparti  $G = (X, Y, \Gamma)$  tel que  $\forall s_i \in Y \exists (r_j, p_j) \in X$  t.q.  $\Gamma(r_j, p_j) = s_i$ , énumérer les couvertures minimales de poids minimum suivant les deux critères de poids P et Q définis précédemment.

2. Solution du problème.

	$s_1$	$s_2$	$s_j$	$s_{m-1}$	$s_m$
$r_1, p_1$					
$r_2, p_2$					
$r_i, p_i$			$g(i, j)$		
$r_{n-1}, p_{n-1}$					

$$g(i, j) = 0 \text{ si } (r_i, s_j) = p_i$$

$$g(i, j) = 1 \text{ si } (r_i, s_j) \neq p_i$$

Désignons par  $n-1$  l'indice du coup pour lequel on a détecté une erreur de déduction logique.

Trouver le plus petit ensemble de ligne  $X_0 \subseteq X$  vérifiant la propriété

$\sum_{i \in X_0} g(i, j) \geq 1$  et choisir parmi ces ensembles ceux constitués des éléments les plus récents.

3. Formalisation sous forme de P.L.E.

$$x_i = 0 \text{ ou } 1 \quad x_i = 0 \text{ si } x_i \notin x_0$$

$$x_i = 1 \text{ si } x_i \in x_0$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} g(i, j) \cdot x_i \geq 1 \quad \forall j$$

$$\min (K \cdot \sum_{i=1}^{n-1} x_i - \sum_{i=1}^{n-1} i \cdot x_i) \equiv \min \sum_{i=1}^{n-1} (K-i)x_i$$

K doit être suffisamment grand pour privilégier la première composante par rapport à la deuxième.

Or  $\# X_0 \leq n-1$ . La deuxième composante vaut donc au maximum  $\sum_{j=1}^{n-1} j = \frac{n(n-1)}{2}$

On a donc  $K \geq \frac{n(n-1)}{2}$ .

Des problèmes de couverture sont des problèmes en variable 0 et 1 résolus par la théorie de la programmation linéaire du genre des techniques d'énumération implicites de F. BALAS (F. BALAS, 1965) ou des méthodes de Séparation et Evaluation Progressive de KENDRICK et WEITZMANN (KENDRICK, D.A., ... , 1969)

### 33. Description générale de l'outil.

Le programme *logique* est un programme interactif paramétrable. Le but du programme est de tester l'aptitude à la déduction logique de l'étudiant comparativement à certaines logiques définies préalablement. Dans ce but, il permet actuellement de détecter les erreurs de déduction commises par l'étudiant, d'en découvrir la cause, de l'en informer et de mémoriser ces éléments.

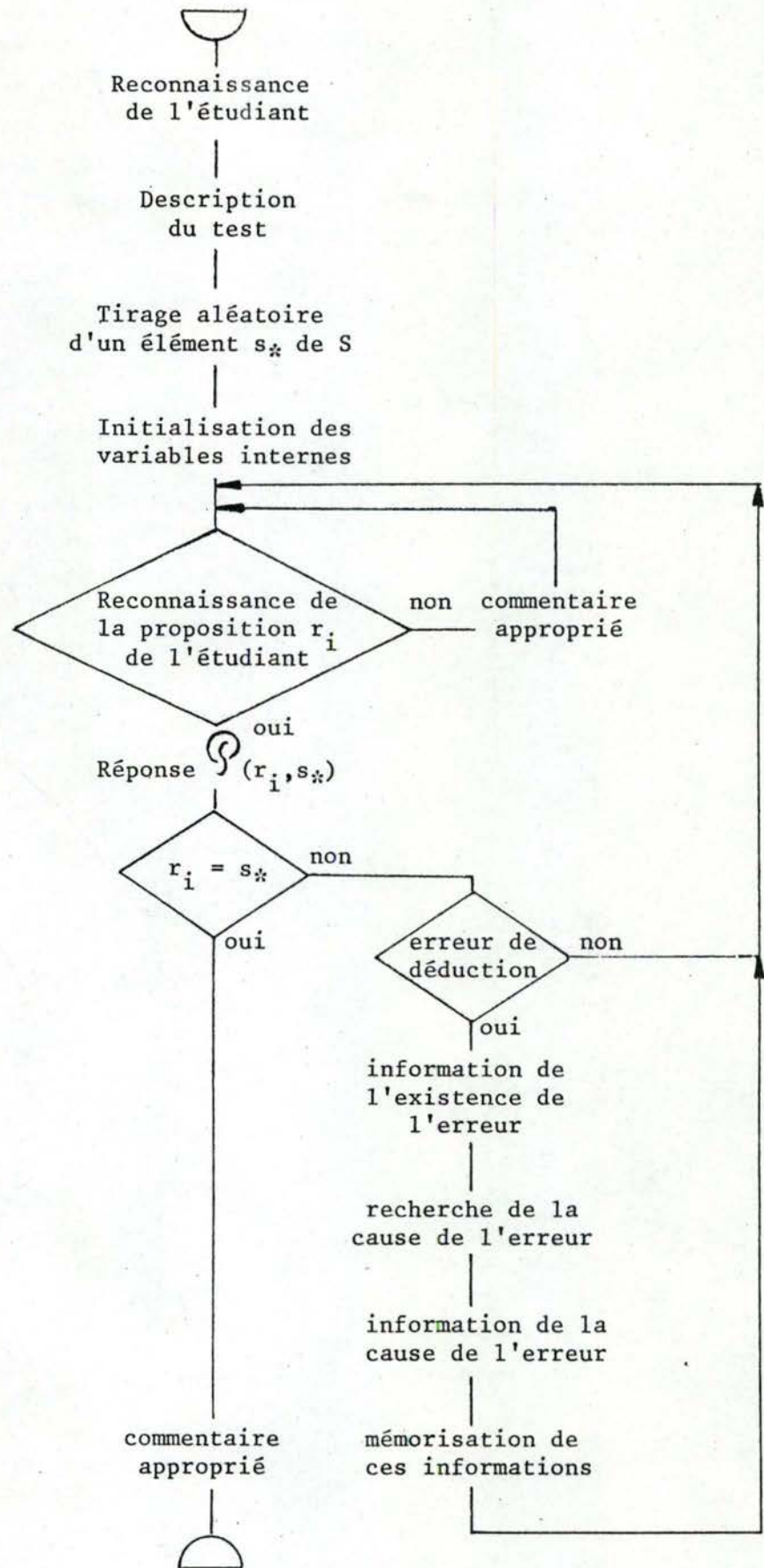
Sur base de cette mémorisation et lorsque l'expérimentation permettra une certaine analyse statistique, un complément à ce programme permettra :

- 1° une hiérarchisation des différentes logiques tests sur base de la difficulté à les maîtriser;
- 2° l'évaluation proprement dite de l'étudiant sur base de son aptitude à la déduction logique.

Le programme *logique* présuppose l'existence d'un fichier dont le nom est identifié grâce au paramètre. Ce fichier contient les informations suivantes :

- 1° description de l'ensemble S;
- 2° description de l'ensemble R;
- 3° description de la fonction  $\mathcal{P}: R \times S \rightarrow P$ ;
- 4° description des commentaires standards suivants :
  - introduction permettant la description de la logique testée et des entrées du dialogue,
  - commentaire associé à la non-reconnaissance de la proposition introduite par l'étudiant,
  - commentaire associé à la détection d'une erreur de déduction logique,
  - commentaire associé à la découverte par l'étudiant de la solution s choisie aléatoirement dans S.

Nous allons décrire l'algorithme général du programme *logique* tel qu'il fonctionne actuellement.



## CHAPITRE 4 : Conclusions.

Il nous semble que le jeu de Mastermind peut être un outil intéressant dans la recherche de l'évaluation de l'aptitude à la déduction logique. Il ne permet cependant que de tester l'erreur de redondance. D'autres types d'erreur de déduction doivent pouvoir être testés si l'on veut arriver à une évaluation qui soit significative.

Les extensions nécessaires pour rendre réellement fructueux cet outil sont de deux types :

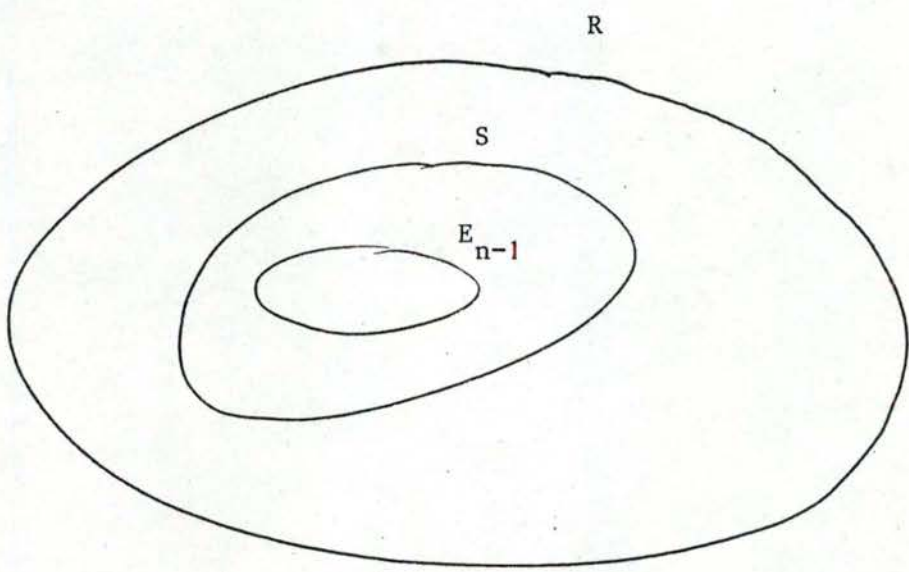
- 1° développer un outil de type *METAGO* permettant la rédaction aisée du fichier dont le programme *logique* présuppose l'existence et dont actuellement la création a été possible par une procédure d'exception (programme);
- 2° développer l'outil proprement dit pour qu'il prenne en compte d'autres types d'erreur de déduction; c'est dans ce but que l'on a considéré dès le départ l'ensemble des propositions R comme n'étant pas limité à l'ensemble des solutions S mais comme constitué de cet ensemble S et de l'ensemble des propriétés significatives du problème considéré.

L'étudiant aura alors le choix entre deux alternatives :

- 1° s'il considère qu'il n'a pas suffisamment d'information pour conclure, il demande de l'information supplémentaire (propriété);
- 2° s'il considère qu'il a suffisamment d'information, il propose une solution dans l'ensemble des solutions encore possibles au vu de l'état actuel du dialogue.

En analysant la proposition  $r_n$  de l'étudiant quant à son appartenance aux différents sous-ensembles de R et compte tenu de l'évolution de l'ensemble  $E_n$  ( $E_0 = S$ ), on peut découvrir chez l'étudiant différentes erreurs de déduction logique et en analyser la cause.

Ce n'est que lorsque seront résolus ces problèmes et intégrées ces extensions que l'on pourra arriver à une certaine pertinence de l'outil. Ce n'est qu'à partir de ce moment que l'on pourra entreprendre l'évaluation proprement dite.



	$r_n \notin R$	$r_n \in R \setminus S$	$r_n \in S \setminus E_{n-1}$	$r_n \in E_{n-1}$
$E_n \neq E_{n-1}$	IMPOSSIBLE	CORRECT	ERREUR DE DEDUCTION DANS LE RAISONNEMENT DE L'ETUDIANT (il croit que $r_n \in E_{n-1}$ )	CORRECT
$E_n = E_{n-1}$	ERREUR DE QUALIFICATION PROPRIETE $r$ NON SIGNIFICATIVE DU PROBLEME	ERREUR DE REDONDANCE PROPRIETE $r$ DEDUCTIBLE DE $\bigcap_{i=1}^{n-1} (r_i, p_i)$	IDEM EN PLUS : ERREUR DE REDONDANCE	IMPOSSIBLE

C'est sur base d'une analyse statistique que l'on se propose de définir la fonction d'évaluation proprement dite. Cette fonction D devra tenir compte des autres types d'erreur de déduction logique. En ce qui concerne l'erreur de déduction logique telle qu'elle est définie actuellement, on peut énumérer les grandes lignes de cette évaluation. Ces grandes lignes reposent sur une hiérarchisation de la gravité de l'erreur commise. Les voici exposées en quelques mots :

- une erreur de déduction logique est plus grave au début du raisonnement,
- la gravité de l'erreur décroît avec l'augmentation du nombre de coups impliqués,
- la gravité de l'erreur décroît avec l'éloignement dans le temps des coups impliqués.

On disposera alors d'un outil proposant une évaluation de l'aptitude à la déduction logique comparativement à certaines logiques de référence.

ANNEXE : Eléments théoriques de base des sous-ensembles flous (KAUFMANN, 1977).

### 1. Sous-ensembles flous.

Soit un référentiel  $E$  et un sous-ensemble  $A \subset E$ . Pour indiquer qu'un élément  $x$  de  $E$  appartient ou n'appartient pas à  $A$ , on a l'habitude d'utiliser le concept de fonction caractéristique

$$\mu_A(x) = 1 \quad \text{si } x \in A,$$

$$\mu_A(x) = 0 \quad \text{si } x \notin A.$$

Autrement dit ;

$$\mu_A(x) : x \rightarrow \{0, 1\}.$$

La théorie des sous-ensembles flous généralise ce concept en considérant :

$$\mu_{\tilde{A}}(x) : \rightarrow [0, 1],$$

ce qui signifie qu'un élément  $x$  de  $E$  peut appartenir partiellement au sous-ensemble flou  $\tilde{A}$ .

Exemple :

$$E = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$$

$$A = \{(x_1/0), (x_2/1), (x_3/1), (x_4/0), (x_5/1)\}$$

ou avec la notation habituelle

$$A = \{x_2, x_3, x_5\}$$

$$\tilde{A} = \{(x_1/0), (x_2/0,2), (x_3/1), (x_4/0,8), (x_5/0,6)\}$$

Donnons maintenant une définition rigoureuse de ce concept selon L.A. ZADEH.

Soit  $E$  un référentiel, ensemble dénombrable ou non, et  $x$  un élément de  $E$ , alors le sous-ensemble flou  $\tilde{A}$  de  $E$  est un ensemble de couples

$$\{(x/\mu_{\tilde{A}}(x))\} \quad x \in E$$

où  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  est le "degré d'appartenance" de  $x$  dans  $\tilde{A}$ .

## 2. Opérations sur les sous-ensembles flous.

- inclusion  $\underset{\sim}{A} \subset \underset{\sim}{B}$  si  $\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \leq \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)$ ;
- complémentation  $\underset{\sim}{A} = \overline{\underset{\sim}{B}}$  si  $\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = 1 - \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)$ ;
- intersection  $\underset{\sim}{A} \cap \underset{\sim}{B}$  si  $\mu_{\underset{\sim}{A} \cap \underset{\sim}{B}}(x) = \text{MIN} [\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)]$
- union  $\underset{\sim}{A} \cup \underset{\sim}{B}$  si  $\mu_{\underset{\sim}{A} \cup \underset{\sim}{B}}(x) = \text{MAX} \mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)$
- égalité  $\underset{\sim}{A} = \underset{\sim}{B}$  si  $\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)$

On définit la distance de HAMMING relative généralisée pour les sous-ensembles flous par

$$d(\underset{\sim}{A}, \underset{\sim}{B}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_{\underset{\sim}{A}}(x_i) - \mu_{\underset{\sim}{B}}(x_i)|$$

où  $n = \text{card } E$ .

Notons que -  $d(\underset{\sim}{A}, \underset{\sim}{B}) \leq 1$ ,

- ce dernier concept vérifie bien les 3 axiomes de distance.

## 3. Relation floue.

Comme on le sait dans la théorie des sous-ensembles vulgaires, la notion de graphe flou peut s'expliquer à l'aide de la notion de "relation floue". Soit :

P un ensemble produit de n-ensembles et  
M son ensemble d'appartenance;

une relation n-aire floue est un sous-ensemble flou de P prenant ses valeurs dans M.

Exemple :

$$E_1 = \{x_1, x_2, x_3\}$$

$$E_2 = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$$

$$M = [0, 1]$$

Le tableau suivant exprime une relation 2-aire floue :

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
$x_1$	0	0	0,1	0,3	1
$x_2$	0	0,8	0	0	1
$x_3$	0,4	0,4	0,5	0	0,2

Composition de deux relations floues.

Exemple :

*composition MAX-MIN.*

Soient  $R_1 \subset X \times Y$  et  $R_2 \subset Y \times Z$ . On définira la "composition MAX-MIN" de  $R_1$  et  $R_2$ , notée  $R_1 \circ R_2$ , par l'expression

$$\mu_{R_2 \circ R_1}(x, z) = \max_Y [\min (\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z))] \quad (1)$$

*composition MAX-étoile.*

On peut remplacer MIN dans (1) par n'importe quel autre opérateur, sous réserve qu'il donne comme MIN une composition associative et monotone non décroissante pour chaque argument. On aura alors :

$$\mu_{R_2 * R_1}(x, z) = \max_Y [\mu_R(x, y) * \mu_T(y, z)]$$

## BIBLIOGRAPHIE.

1. ALDERMAN, D.L., APPEL, L.R. and MURPHY, R.T., "Plato and Ticcit : An Evaluation of CAI in the Community College",  
Educational Technology, April 1978, pp. 40-45.
2. ATKINSON, R.C., ATTALA, E.E., BITZER, P.L., BUNDERSON, C.V., CHARP, S., HIRSCHBUHL, J.J., "Futures : Where Will Computer-Assisted Instruction (CAI) be in 1990 ?",  
Educational Technology, April 1978, pp. 60-63.
3. BALAS, E., "An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables",  
Operations Research, Vol. 13, No. 4 (1965), pp. 517-546.
4. BLONDEL, F.M. et SALAME, N., "Enseignement Médical Assisté par Ordinateur -  
Compte-rendu de Ucodi Summer School Geneva 19-29 August 1975".
4. BOLOPION, A., LATOMBE, J.C. et SABONNADIÈRE, J.C., "Elaboration d'un système pédagogique d'assistance à la conception en électrotechnique",  
R.G.E. Juillet-Août 1974, n° 7/8, tome 83, pp. 472-477.
5. BORK, A., "Machines for Computer Assisted Learning",  
Educational Technology, April 1978, pp. 17-19.
6. DUBOIS, Th., "Méthodes d'évaluation et de gestion dans les systèmes didactiques multimedia",  
Thèse de doctorat en Sciences Appliquées, Louvain, 1975.
7. DUBOIS, Th., "Die Anwendung der Theorie unscharfer Untermengen zur kontinuierlichen Leitung von Lernprozessen im rechnerunterstützten Unterricht",  
Schroedel-Kybernetik und Bildung II, 8, pp. 118-136, 1976.  
(traduction anglaise, document du centre IMAGO).
8. HEBENSTREIT, J., "L'enseignement assisté par ordinateur : où en est-on ?",  
01 INFORMATIQUE, janvier-février 1979, n° 127, pp. 32-38.

9. HOUSE, E.R., "The Politics of Educational Innovation",  
Mac Cutchan Publishing Corporation, California 1974.
10. JONES, A., STOLUROW, L., CHARP, S., "Modèles de systèmes d'enseignement assistés par ordinateurs en Colombie, Inde et Yougoslavie",  
Document UNESCO, 1975
11. JONES, A., "Instructional Applications of the Computer at the University of Louvain",  
Int. J. Man-Machine Studies 5, pp. 397-420, 1973.
12. JONES, A., "Die Anpassung der Ziele, Mittel und Funktionen eines Lernsystems anhand der Theorie unscharfer Untermengen",  
Schroedel-Kybernetik und Bildung III, 11, pp. 84-93, 1977  
(traduction française, document du centre IMAGO).
13. KAUFMANN, A., COOLS, M. et DUBOIS, Th., "Stimulation inventive dans un dialogue homme-machine utilisant la méthode des morphologies",  
(papier présenté à "Arbeitstagung Morphologie", 25-27 octobre 1973, Glarus, Suisse).
14. KAUFMANN, A., "Introduction à la théorie des sous-ensembles flous - Eléments théoriques de base",  
Masson, 1977.
15. KULIK, J.A. and JAKSA, P., "PSI and Other Educational Technologies in College Teaching",  
Educational Technology, September 1977.
16. MAGIDSON, E.M., "Trends in Computer - Assisted Instruction",  
Educational Technology, April 1978, pp. 5-8.
17. KENDRICK, D. A., DAVIS, R. E. and WEITZMAN, M., "A Branch and Bound Algorithm for Zero-One Mixed Integer Programming Problems",  
Development Economic Report, No. 69, 1967.

18. SHERWOOD, B.A., "Free-Body Diagrams (a PLATO Lesson)",  
American Journal of Physics, October 1971, n° 39/10, pp. 1199-1202.
19. SUPPES, P. and MARCKEN, E., "The Historical Path from Research and Development to Operational Use of CAI",  
Educational Technology, April 1978, pp. 9-11.
20. VIAUD, D., "Une formalisation du jeu de Mastermind",  
RAIRO, Août 1979, pp. 307-321.

2

BUMP



0 0 3 5 9 0 6 9 4

\*FM B16/1980/08