

QUELQUES ASPECTS DES COMPORTEMENTS ALGORITHMIQUES

par P. VERMERSCH

Laboratoire de Psychologie du Travail de l'EPHE
Equipe de Recherche associée du CNRS
41, rue Gay-Lussac, 75-Paris (5e)

RÉSUMÉ

Ce travail aborde quelques aspects des comportements algorithmiques.

Une première partie porte sur la construction et l'utilisation des algorithmes.

La seconde partie propose quelques éléments pour un modèle du sujet qui se réfèrent à la psychologie cognitive et aux travaux de Piaget. La notion de méthode est abordée en conclusion.

INTRODUCTION

Dans un précédent article (Vermersch, 1971), nous avons défini la notion d'algorithme considérée en elle-même, en montrant l'existence de plusieurs niveaux de définition. On abandonnera ici cette perspective, pour resituer la notion d'algorithme dans un système d'ensemble, où les comportements de l'opérateur humain en relation avec les algorithmes tiendront le premier plan.

Deux aspects seront étudiés, qui correspondent aux principales questions que peut se poser un psychologue : la construction et l'utilisation des algorithmes. Cela ne donnera pas lieu à des développements technologiques susceptibles d'aboutir à des recettes (comment faut-il faire pour construire un algorithme ?, par exemple) ; mais plutôt du point de vue du psychologue : comment peut-on décrire, caractériser la conduite de construction d'un algorithme ? Nous serons amené à montrer que les réponses à ces questions sont différentes suivant le type du sujet qui est décrit. La mise en évidence de ces différences sera un des aspects essentiels de ce travail et la justification du mode d'approche choisi.

Les articles pris en considération seront relatifs aux domaines de la psychologie du travail et de la pédagogie essentiellement. La deuxième partie essaiera de réunir les éléments d'un modèle du sujet à partir des apports de la psychologie cognitive, dans le but de resituer les comportements du sujet en relation avec les algorithmes, sur un plan non plus descriptif mais théorique.

La notion de méthode apparaîtra à différents moments de la rédaction comme corrélatrice de celle d'algorithme, nous concluons sur cet aspect. Ajoutons encore qu'en règle générale, le présent travail s'appuiera sur le précédent (Vermersch, 1971), dont il utilisera les définitions et les considérations déjà exposées pour aller plus loin.

I. - CONSTRUCTION ET UTILISATION D'ALGORITHMES

I) LE SYSTÈME D'ENSEMBLE

Un algorithme, s'il peut être défini en tant que tel, n'a pas une existence isolée de tout contexte, car cet algorithme n'existe que si quelqu'un l'a construit, il n'est algorithme que s'il est matérialisé par un dispositif. Quant au deuxième point, nous avons montré que dissocier un algorithme du dispositif qui l'appliquait (Birukov et Landa, 1969) pouvait induire la confusion dans les définitions dans cet article, nous ne nous occupons que du dispositif particulier qu'est l'opérateur humain.

Nous envisagerons trois cas successivement

a) Le sujet que nous qualifierons de « naïf » ou spontané (enfant ou adulte) face à un problème ou une classe de problèmes à résoudre ; b) Le sujet « bien finalisé »⁽¹⁾ ;

c) Le sujet apprenant ;

ceci, des deux points de vue : Construction et Utilisation.

A) Construction des algorithmes

a) *Le sujet spontané.* - La plupart des travaux que l'on peut consulter sur ce point montrent que le sujet qui est dans une situation problématique, ayant un sens pour lui, ne procède pas par essais au hasard.

Les exemples extraits du domaine industriel montrent que les sujets élaborent spontanément des stratégies pour résoudre les problèmes professionnels quotidiens. Dans ce domaine, les contraintes de la tâche sont telles que nécessairement les solutions construites sont effectives. Cependant, si un contrôleur de la navigation aérienne (cf. Leplat, Bisseret, 1965) est obligé de trouver une solution aux risques de collision entre avions, les auteurs ont observé que les contrôleurs n'adoptent pas tous la stratégie optimale. De même, un conducteur de laminoir (cf. Cuny, Deransart, 1971) qui doit récupérer des incidents dans le fonctionnement de la machine, arrive au résultat dans la plupart des cas ; mais on assistera à une variété de procédures de récupération, l'ouvrier pouvant mettre très longtemps à exploiter toutes les possibilités du système « l'étude du poste a montré qu'une règle (...) avait été découverte après cinq ans de service »... (Cuny, Deransart, p. 34).

Dans le domaine scolaire, Landa (mais les pédagogues qui s'associeraient à ses observations, doivent être certainement très nombreux) dit : « Les algorithmes dont disposent les élèves n'ont pas été généralisés dans la mesure voulue et ils ne deviennent actuels que dans des conditions déterminées et limitées » (1959, P. 15). Il ajoute plus loin : « Si l'on n'enseigne pas les algorithmes aux élèves, ceux-ci seront obligés de les découvrir eux-mêmes » (p. 17). Gentilhomme précise aussi que : « L'examen des erreurs d'écoliers montre qu'elles résultent souvent d'algorithmes intuitivement élaborés, à partir de règles plus ou moins explicites » (1971, p. 15).

(i) Nous expliquerons en b) ce que nous voulons dire par là.

En psychologie expérimentale, Vergnaud (1968) a utilisé des situations à support spatial (séries de pièces emboîtées ou d'autres s'inspirant du taquin) sur une population d'enfants de 3 à 9 ans. Ces expériences confirment ce que les pédagogues ont observé : spontanément les sujets n'ont pas un comportement purement aléatoire.

S'agissant de comportements spontanés, il est normal que les exemples rapportés insistent plus sur l'aspect systématique, *règle (i)* de conduite que sur leur caractère strictement algorithmique. Tous ces exemples diffèrent beaucoup dans leurs conditions extérieures (degré de répétitivité, nombre et fréquence des contraintes...). Cependant, une caractéristique commune est que la recherche de l'exhaustivité des solutions, qui est une des conditions nécessaires de la notion d'algorithme, n'est jamais poursuivie explicitement. Si cette exhaustivité est atteinte malgré tout (cas des contrôleurs de la navigation aérienne par exemple), il semble que cela soit dû aux contraintes draconiennes de la tâche. Dans d'autres secteurs professionnels, l'absence de l'exhaustivité (de l'effectivité donc) crée la possibilité de situations rares, qui sortent de l'ensemble des solutions spontanément élaborées par le sujet. Ce sont souvent des situations d'incident, donc les plus graves.

b) *Le sujet « bien finalisé »*. - Les sujets dont nous venons d'évoquer le comportement spontané : ouvriers, techniciens, écoliers..., d'autres sujets les ont étudiés qui étaient en situation d'observateur. Ces autres sujets, psychologues du travail ou pédagogues, ont aussi dans la plupart des cas construit des algorithmes : soit par méthode, pour essayer de comprendre le comportement observé, par la référence à une norme construite *a priori*, soit (et ce n'est pas exclusif), dans un but final d'aménagement du travail ou d'enseignement. En ce sens, nous nous croyons autorisé à prendre en compte le comportement de ces sujets-psychologues quand ils essaient de construire un algorithme.

Mais contrairement aux sujets spontanés, ces sujets ont comme but précis de faire cette construction, c'est pourquoi nous les appellerons des sujets bien finalisés (2).

Cependant, nous n'avons pas de recueil d'observations sur la procédure de fait suivie par ces sujets bien finalisés ; c'est là une difficulté. Restent alors tous les documents qui rendent compte après coup de leur démarche et des résultats obtenus. Dans ce cas, nous savons que le souci de se conformer à une réduction scientifique implique une reconstruction qui ne reflète pas la suite des comportements réels. Si nous devons donc renoncer à l'étude des cheminements suivis par les sujets bien finalisés, il nous reste cependant les étapes ou sous-buts que ces sujets décrivent dans leurs comptes rendus comme nécessaires. On peut présenter quelques travaux dans l'ordre logique où se succèdent deux grandes étapes, d'une part l'analyse des données, leur modélisation qui permet de définir la classe de problèmes, d'autre part le choix et la mise au point de l'algorithme de résolution. Nous parlons bien ici d'ordre logique, qui est un ordre d'exposé, mais nous ne pouvons rien dire sur l'ordre réel.

(1) VERMERSCH, 1971, p. 167-169.

(2) Il n'y a, sous-jacent, aucun jugement de valeur.

I) DIAGNOSTIC, MODÉLISATION, FORMALISATION

Leplat et Bisseret (1965) donnent comme étape préliminaire à l'analyse des méthodes de recherche de conflits une analyse logique, utilisant comme données de base les textes réglementaires, et l'organisation du contrôle de la navigation aérienne. Ils déterminent ainsi les informations qu'il est nécessaire de posséder pour aboutir à la catégorisation conflit ou non-conflit. La tâche étudiée est décrite comme une activité de classement, le fait que cette tâche apparaisse immédiatement ainsi facilite déjà grandement le découpage de la réalité en variables.

Cuny et Deransart (1971) explicitent leur point de vue sur cette première étape. Il faut, disent-ils, disposer d'une « théorie ou modèle du dispositif concret (ou machine objective) fournissant le support à l'activité intellectuelle... D'une façon générale, analyser les comportements d'un opérateur exige d'abord que soit élaborée une théorie du système dans lequel évolue cet opérateur, théorie fournissant le cadre nécessaire à l'interprétation ». Ces auteurs ont précisé quelques exigences sur la nature de ce « modèle pertinent » préalable : « il faut

« - déterminer un ensemble fini de traits distinctifs appelés variables, juste suffisant pour rendre compte de l'ensemble des situations dans lesquelles l'opérateur doit faire un choix ;
« - rechercher toutes les règles permettant d'engendrer l'ensemble des situations ».

Dans cet exemple, la modélisation est poussée assez loin sous la forme d'un « modèle à état pour la description du champ de travail ». Notons qu'en distinguant clairement entre ensemble d'états et règles, nous sommes très proches de la description d'un algorithme telle que l'a faite Chapiro (1967).

Un autre travail ajoute une nuance supplémentaire aux modalités déjà distinguées. Enard (1968) dans son travail sur « le calcul de la charge d'un avion », est à cheval entre le monde du travail et les problèmes d'apprentissage. Elle se situe « dans la perspective d'une complémentarité de l'analyse du travail et de l'analyse pédagogique dans la construction d'un enseignement programmé ». Elle distingue dans l'analyse préalable qu'elle effectue sur la tâche étudiée deux aspects

- une organisation logico-mathématique intrinsèque à la matière ; - la logique d'utilisation.

La détermination de l'algorithme correspond à ce second aspect, il est un découpage dans un but fonctionnel de l'organisation intrinsèque.

Un dernier exemple dans le domaine pédagogique montre que Gentilhomme (1969) - qui s'inspire directement des travaux de Landa - en traitant un exemple sur la détermination du pluriel des substantifs, commence par faire une partition des substantifs fondée sur le concept de traits pertinents ; il choisit ensuite les opérateurs qui correspondent aux démarches élémentaires.

Ces quelques travaux ont été très rapidement présentés, il n'entrait pas dans notre but de les développer pour eux-mêmes, retenons que tous, avec des nuances, des précisions diverses, insistent sur le travail préalable de recherche des variables pertinentes, des règles à mettre en jeu, des opérateurs élémen-

(aires à définir. Le psychologue ne sera pas étonné de ces pratiques, il y a là la systématisation d'un processus qui existe déjà dans la simple activité perceptive (Bruner, Piaget), c'est-à-dire une activité classificatrice. Cette modélisation qui est poussée chez quelques auteurs jusqu'à une formalisation complète, correspond chez ces sujets à une attitude qui a valeur de méthode explicite, on n'en trouverait pas de meilleure preuve que le fait qu'en psychologie du travail, cette étape est décrite de façon assez systématique comme correspondant en partie au diagnostic (cf. Leplat, 1971). On peut trouver un autre aspect de cet exposé systématique de cette étape chez les auteurs qui traitent des méthodes d'analyse de la matière en enseignement programmé. Mais notre point de vue est encore autre, et nous le précisons à la fin du paragraphe suivant.

2) L'ALGORITHME OPTIMUM

L'autre étape qui a été distinguée se rapporte à la détermination de l'algorithme de résolution en tant que tel.

La plupart des auteurs déjà cités se sont fondés sur deux aspects complémentaires, pour faire cette détermination : d'une part, une ou plusieurs *constructions « a priori »* (Bisseret, Leplat, Cuny, Enard) et, dans le domaine pédagogique, cela souvent a été la seule approche (Gentilhomme, Landa, Pohl), d'autre part un *relevé des stratégies* qu'utilisent les sujets pour résoudre quotidiennement leurs problèmes professionnels.

La *représentation* de ces stratégies par un organigramme permet de visualiser l'ensemble des cheminements.

Pour Cuny et Deransart (1971) la *formalisation sous forme d'une grammaire* constituant un mécanisme générateur de procédures efficaces a paru la plus intéressante pour rendre compte de procédures de récupération. Cette formalisation permet un calcul (au sens logique) qui donne une garantie supplémentaire d'exhaustivité.

La formalisation utilisée par Gentilhomme et Landa permet de plus, selon ces auteurs, une détermination mathématique de l'organigramme de longueur et de difficulté optimum. On retrouve ce même souci d'évaluation de la procédure optimale chez Bisseret.

Chez tous ces auteurs, on trouve un souci de validation de l'algorithme ainsi défini. Que ce soit par des techniques de simulation statique (Leplat, Bisseret, 1965) qui visent à comparer le comportement du sujet dans une situation très proche de la situation réelle à l'algorithme, ou que ce soit la simulation sur ordinateur qui permet de valider l'exhaustivité des règles et variables

= distinguées par un calcul explorant la gamme des situations possibles (Cuny, Deransart), ou encore par l'observation provoquée (Landa). Dans tous les cas, la comparaison est faite entre les constructions faites *a priori*, et le fonctionnement dans la réalité. Dans le cas du sujet bien finalisé, on assiste à un certain nombre de boucles en retour, à partir de l'exigence de vérification expérimentale soit vers la redéfinition de la pertinence d'une variable, de l'exhaustivité de la classe de problèmes, du regroupement ou de la différenciation plus fine des opérateurs élémentaires.

Ces principaux aspects de la démarche caractérisant le sujet bien finalisé dans la construction d'un algorithme, sont très semblables chez la plupart des

auteurs, avec des degrés d'élaboration et de finesse très variables. On peut trouver cependant un décalage, semble-t-il, important, dans le souci de vérification (et donc de validation) expérimentale entre la psychologie et les exemples tirés de la pédagogie.

Examinons maintenant le troisième type de sujet avant de tirer quelques conclusions.

c) *Le sujet apprenant.* - Le sujet en situation d'apprentissage est caractérisé ici par le fait qu'il doit apprendre la matière (au sens scolaire) et donc les classes de problèmes qui en sont issues et les algorithmes qui ont déjà été construits par d'autres (le pédagogue en général). Dans la mesure où le processus d'apprentissage est en partie une reconstruction par le sujet, cet aspect doit être envisagé maintenant.

Landa resitue le problème quand il parle des deux manières de faire apprendre un algorithme : soit le présenter tout fait, ce qui lui paraît une solution médiocre ; soit essayer de le faire reconstruire par l'enfant. Cette dernière proposition établit un lien avec les deux types de sujets précédents. Landa et Talyzina (1968) ajoutent que ce qui leur paraît important dans le cadre scolaire, ce n'est pas tant de faire apprendre les multiples algorithmes que l'on peut construire à propos de chaque matière mais plutôt de faire acquérir une *méthode* afin d'apprendre à construire les algorithmes appropriés. On retombe directement dans les considérations soulevées par le sujet spontané et le sujet bien finalisé. Car, faire reconstruire un algorithme, c'est déjà évoquer une certaine pédagogie mettant l'accent sur l'activité spontanée du sujet (sur un terrain, certes déjà habilement préparée).

Il n'en reste pas moins que dans certains cas, et plus particulièrement dans les secteurs industriel et commercial, ce que l'on souhaite, c'est uniquement faire acquérir un algorithme particulier. Il nous semble plus exact de traiter ce point dans l'aspect « Utilisation des algorithmes ».

d) *La diversité des sujets.* - Peut-on maintenant soutenir jusqu'au bout la diversité que nous avons voulu distinguer avec ces trois types de sujets. Le sujet spontané et le sujet bien finalisé ont des points communs : tous deux sont motivés, tous deux essaient de résoudre un problème qui a un sens pour eux ; la situation n'a rien d'artificiel, elle s'insère dans le cadre de vie : ils ont tous deux une activité finalisée. Ce qui les distingue fondamentalement, c'est que le sujet bien finalisé est *en plus* finalisé au niveau des propriétés de la solution qu'il recherche. Non seulement il recherche une solution, mais qui plus est, une solution effective, réglée et déterminée. Ce point est extrêmement important.

Si nous avons traité de la démarche du sujet bien finalisé, sans nous étendre davantage, c'est non seulement parce que nous n'avons que des témoignages *a posteriori*, mais aussi parce que ces simples témoignages étaient suffisants pour montrer la très grande différence dans les résultats obtenus entre les deux types de sujets, par le seul fait d'une activité orientée par une finalisation différente. Les exemples que nous avons donnés peuvent difficilement être pris comme une description d'une méthode *a priori*, il y a sur cet aspect précis un vaste champ d'étude à ouvrir, mais ils illustrent le fait qu'un sujet bien finalisé développe une méthode d'approche des problèmes, la preuve en étant la similitude des étapes qu'ils caractérisent et qui ont statut de témoins indirects seulement.

Si les deux premiers types de sujets sont donc bien différents, qu'en est-il du sujet apprenant ? S'il s'agit réellement d'un sujet apprenant et non pas d'un pur utilisateur (cf. Gage et coll., 1966), l'intérêt de le ramener aux deux premiers aspects est évident. La question qui se pose est plutôt de savoir comment favoriser l'activité du sujet, comment lui faire assimiler une certaine finalisation, comment lui faire acquérir une méthode ?

Chez l'enfant, il semble difficile de faire assimiler les propriétés que caractérise un algorithme, de telle façon qu'il puisse en faire un modèle de son activité, c'est-à-dire qu'il soit bien finalisé. Les motivations de l'enfant en situation de résolution de problèmes évoluent avec l'âge, en fonction des structures intellectuelles qu'il est capable de mettre en oeuvre (Inhelder, 1954). Or le concept même d'algorithme suppose le niveau formel. Par contre, on peut concevoir leur utilisation précoce, comme on peut le voir dans le cadre de l'enseignement des mathématiques de base (Mix, 1970; Dienes, 1965). Ce qui semble important, ce n'est pas de faire comprendre à proprement parler, les propriétés des algorithmes construits, mais de faire agir l'enfant avec des objets symboliques suivant une logique de cheminements séquentiels qui peuvent le préparer activement à l'intériorisation d'une méthode. On ne peut ici s'empêcher d'associer à cet aspect l'utilisation de l'informatique dans le primaire ou le secondaire.

B) Utilisation des algorithmes

Nous suivrons pour exposer ce point les trois divisions déjà utilisées dans « Construction », dans le même ordre.

a) *Le sujet spontané.* - Pour le sujet spontané qui a construit spontanément, c'est-à-dire du fait de son activité propre, une solution ayant à ses yeux valeur d'algorithme, l'application de cette même solution ne doit pas soulever de difficulté sinon de simples régulations mineures, qui sont les conditions mêmes de la variété des embranchements de la solution. C'est au fond ce que l'on voit dans les exemples observés par les différents auteurs que nous avons déjà exposés. Le seul problème qui demeure est celui de la garantie d'exhaustivité dans la définition de la classe de problèmes, mais on se trouve ramené aux problèmes de construction.

b) *Le sujet « bien finalisé ».* - Le cas n'est pas très différent du précédent. De plus, ces sujets se donnent, nous l'avons vu, des moyens de vérifier expérimentalement les propriétés algorithmiques de leurs solutions. On peut trouver en plus une impression de certitude fondée sur des aspects non dénués de solidité (i).

c) *Le sujet « apprenant ».* - Pour ce type de sujet, l'utilisation d'un algorithme est toujours problématique. Il doit au préalable non seulement apprendre l'algorithme mais aussi apprendre à recoder les données pour savoir quel est le problème et donc si c'est bien cet algorithme qui peut s'appliquer (Landa). De plus, les documents que nous pouvons consulter pour préciser le compor

(i) Bien sûr, dans la mesure où ces sujets bien finalisés, par exemple psychologues, ne sont pas préparés à la mise en oeuvre dans les conditions de *stress* du terrain industriel de l'algorithme, l'utilisation peut se révéler délicate. Mais le problème n'est pas là.

tement d'un sujet utilisant un algorithme qui porte directement sur l'observation du processus sont pratiquement inexistantes. Encore une fois, il nous faut recourir à des témoignages intermédiaires, en prenant en compte l'activité des psychologues ou pédagogues préparant des algorithmes dans le but de les faire apprendre.

Tout d'abord, il est nécessaire de distinguer différents buts que l'on fixe à un apprentissage. Gage aborde ce point de façon très pragmatique, dans le cadre des activités commerciale et industrielle. Il précise : « Notre but le plus ambitieux est de construire des algorithmes qui sont suffisamment intelligibles pour que le sujet n'ait pas besoin d'entraînement spécial. »

- Le premier niveau pour cet auteur sera donc de *montrer (i)* comment utiliser un algorithme (sans aucun apprentissage donc).

- Si l'algorithme est trop complexe, alors on pourra demander à l'opérateur de *mémoriser*, ce qui sera le second niveau.

- Enfin, on peut demander - troisième niveau - à l'opérateur de *comprendre* l'algorithme « au sens d'être capable de répondre de façon intelligente à des questions s'y rapportant et le modifier si le besoin s'en fait sentir ». Ce qui revient à dire qu'il est capable de le reconstruire.

Reprenons ces trois points successivement.

Le meilleur exemple de l'utilisation minimale de l'algorithme se trouve probablement dans le monde du travail (sous la forme d'aides au travail). Gage en donne de très nombreux exemples dans son article, cet aspect est trop connu pour que nous nous y étendions. En pédagogie, de nombreuses acquisitions de base doivent au moins se situer à ce niveau mais le plus souvent, il faut de plus mémoriser.

Le deuxième niveau signalé par ces auteurs, s'il peut correspondre à une difficulté due à la complexité, marque aussi le fait que certaines opérations doivent être mises en jeu de façon très rapide et donc doivent être intériorisées (2).

L'auteur évoque à propos de cette mémorisation, la possibilité de recodage de l'algorithme en unités plus larges, de manière à en diminuer le nombre, et donc faciliter l'acquisition.

Le troisième niveau correspond d'une part à des finalités éducatives - nous l'avons déjà évoqué ; d'autre part, dans le monde professionnel, à des situations de responsabilité. On a mis au point, par exemple, des procédures de diagnostic algorithmiques pour certains domaines médicaux, déterminant les signes cliniques à vérifier, les tests de laboratoire à effectuer, mais il est difficile d'accepter qu'un médecin ne puisse pas intervenir dans le processus pour le modifier (cf. Wason, 1963). Ce dernier niveau renvoie donc au processus de reconstruction de la part du sujet du savoir à acquérir. Nous en avons déjà parlé (cf. A d)).

d) *Diversité dans l'utilisation.* - Cette diversité correspond à la différence entre sujet « actif-spontané » ou « bien finalisé » et sujet relativement passif, en situation d'apprentissage. Avant d'affirmer qu'il s'agit bien alors de trouver une pédagogie active, notons qu'il faut tenir compte des finalités que se fixe

(i) *To show* et non *to teach*, précise-t-il.

(2) Voir chez BISSERET, ENARN, MICUP, *Le problème des mémoires externes et internes.*

l'apprentissage. Car si l'utilisation minimale d'un algorithme ne réclame pas forcément un sujet motivé (i), il faut savoir que ce n'est qu'un mode d'utilisation minimal.

II. - QUELQUES ÉLÉMENTS D'UN MODÈLE DU SUJET

1) NÉCESSITÉ D'UN MODÈLE DU SUJET

Dans notre introduction, nous avons dit que la place du sujet serait essentielle dans cet article. Tout au long de la première partie, nous avons - dans la mesure des documents disponibles - essayé de tenir compte des comportements des sujets en relation avec les algorithmes. Dans cette partie, nous essaierons de quitter le point de vue descriptif, pour passer à un aspect théorique. Et la première exigence pour éclairer ces comportements nous paraît de rassembler les éléments minimaux pour un modèle du sujet, par rapport auxquels nous pourrions resituer la diversité des conduites.

2) LE MODÈLE DE BASE

Nous utiliserons essentiellement les travaux de la psychologie cognitive, s'inspirant en particulier de l'école piagetienne.

On trouve dans Vergnaud (1968) comme dans Mounoud (1971) l'expression de deux nécessités pour un modèle minimal du sujet : d'une part « des systèmes de traitement », ou « la possibilité d'un calcul » de la part du sujet, d'autre part « des systèmes de représentation », la possibilité d'un calcul supposant le passage au plan de la représentation.

Et si, comme le précise Vergnaud, « la notion d'algorithme est la notion mathématique la plus comportementale », c'est qu'elle privilégie la notion de *transformation*, d'opération, qui permet de comprendre le fonctionnement de ces systèmes de traitement. Or, nous savons que ces systèmes de traitement s'organisent en structures d'ensemble que sont les groupements, groupes, schèmes opératoires décrits par Piaget dans toute son oeuvre. L'extension de ce modèle, issu des résultats de la psychologie de l'enfant, à l'adulte, supposera cependant un certain nombre de précautions.

Notons que les applications pédagogiques issues de ce modèle sont déjà extrêmement nombreuses, cette direction de travail est entre autres clairement explicitée par Aebli. C'est à partir des travaux de Piaget et en nous inspirant du livre d'Aebli que nous exposerons la suite. Il est impossible de présenter le détail du modèle du sujet que définit Piaget. Précisons seulement quelques points qui nous seront nécessaires.

a) En même temps que cet auteur définit les différentes structures intellectuelles, il précise que l'intelligence s'organise en *structure d'ensemble* ;

b) Il définit simultanément *l'équilibre* (au sens de processus d'équilibration actif) comme caractérisant l'évolution diachronique du sujet (d'un palier d'équilibre caractérisé par une structure d'ensemble à un autre palier plus

(i) Au sens de Vergnaud.

équilibré caractérisé par une autre structure d'ensemble), comme étant en même temps le principe de l'existence des structures (donc d'états d'équilibre stables et permanents) ;

c) D'autre part, il établit la distinction entre *forme* et *contenu*, l'évolution du sujet pouvant être décrite par une dissociation progressive entre contenu et forme, ces dernières s'organisant en structure totale.

Ces trois aspects sont intimement liés ; pris séparément, ils éclairent la notion d'algorithme en la resituant dans un éclairage psychologique.

3) QUELQUES REMARQUES A PARTIR D'UN MODÈLE DE BASE

a) *Algorithmes et opérations.* - Quant à ce premier point, la notion d'algorithme apparaît paradoxale.

Si on peut décrire l'intelligence par des structures d'ensemble, si une notion n'est assimilée et intériorisée qu'en référence à une telle structure, c'est-à-dire sous forme d'opération au sens piagétien du terme, la bipolarité procédure-conduite évoquée précédemment s'éclaire alors, car, à proprement parler, la notion de procédure algorithmique est une négation de l'opération ; elle correspond à une activité psychologique de niveau très bas (Aebli donne des indications dans ce sens en comparant habitude et opérations, chap. IV). Une procédure découpe un cheminement à travers tout un réseau d'opérations, sans jamais éclairer les relations existant virtuellement dans ce réseau. A chaque pas, la définition, le choix d'un opérateur élémentaire s'appuient sur une logique englobant l'ensemble des aspects, mais pour le sujet qui effectue une procédure algorithmique ces aspects restent par définition ignorés. Si dans le cadre industriel et commercial (Gage) ils ont leurs justifications, ils n'exploitent pas sur le plan psychologique les potentialités du sujet.

A l'autre pôle, quand on transmet un algorithme dans un but éducatif alors que sa construction suppose l'examen des relations virtuelles et donc l'assimilation des notions sur lesquelles est fondé l'algorithme, l'éducateur ne songe au mieux qu'à retransmettre la suite des opérations avec leur logique d'utilisation qui n'est pas mise en rapport avec la logique de la matière (1).

C'est-à-dire que pour le sujet apprenant, les différentes étapes élémentaires et leur enchaînement ne sont pas référés et opposés au système de transformation comprenant l'opération inverse, réciproque ou la possibilité de substitution, mais sont isolés, simplement resitués dans un ordre de déroulement dont la logique propre est insuffisante à révéler le système complet de transformations sous-jacentes.

Cette notion de structure d'ensemble de la pensée, permettant de faire jouer un rôle au virtuel (Inhelder, Piaget, 1955), manque dans la théorie du reflet. Nous avons montré (Vermersch, 1971) comment, pour cette théorie, les algorithmes comme modèles des processus à faire acquérir sont un moyen privilégié pour diriger, guider l'intériorisation. Mais présenté ainsi, il s'agit toujours de l'apprentissage d'une procédure particulière. Certes, Talyzina va plus loin. Cet auteur dit que, lorsqu'on a des finalités éducatives, un bon algorithme n'est pas celui qui est optimum relativement à la difficulté, au nombre, à la longueur des étapes élémentaires à accomplir, mais au contraire « une

(i) Pour cette distinction, voir ENAmD (1968).

'réponse obtenue par une voie longue peut être plus rationnelle que celle obtenue par une voie courte. Car il est important pour la formation d'une notion que l'élève contrôle, au moment de l'analyse de l'objet, tout le système des indices nécessaires et suffisants ; faute de cela il ne s'apercevra pas de la présence de propriétés communes dans des objets relevant de notions différentes » (Talyzina, p. 60). C'est là un pas dans le sens d'une exploration guidée des transformations virtuelles, mais cette approche s'enrichit considérablement par l'apport systématique de Piaget.

Le point de vue présenté dans ce paragraphe est donc bien paradoxal car il semble que la notion d'algorithme soit la négation du mode de fonctionnement des structures intellectuelles telles que les décrit Piaget, puisqu'elle est à l'inverse de la recherche de structure totale. Mais si l'on tient compte de la bipolarité de la notion d'algorithme, c'est vrai pour un sujet passif, apprenant ; c'est inexact pour un sujet qui construit puisque, par son activité même, ce dernier met en jeu l'ensemble des transformations (cf. Aebli, chap. V). Au contraire, pour ce sujet finalisé au niveau des propriétés de la solution, c'est là une activité du plus haut niveau. C'est ce que nous allons essayer de montrer.

b) *L'équilibre.* - La construction d'un algorithme est une conduite particulièrement complexe. Elle suppose la mise en jeu d'une combinatoire (i), puisqu'elle est forcément une recherche de l'exhaustivité, une démarche hypothético-déductive, puisqu'il y a vérification expérimentale (dans le cas des sujets observateurs), la prise de conscience de ces différents aspects, ce qui permet au sujet d'être finalisé sur les propriétés de sa solution.

Une procédure algorithmique correspond par contre à une conduite tout à fait élémentaire ; il s'agit de suivre des indices perceptifs uniquement.

On retrouve encore là la bipolarité de la notion d'algorithme et elle s'éclaire par le concept d'équilibre. Piaget attribue à la définition de l'équilibre en psychologie essentiellement un caractère dynamique : c'est l'ensemble des compensations virtuelles qui définissent le champ de la stabilité.

Or, on a deux aspects : d'une part, l'algorithme comme *résultat* (il peut correspondre à une procédure), qui est la recherche d'un équilibre *statique*. En effet, obtenir un algorithme, avec toutes les propriétés que cela suppose, c'est se donner la garantie d'avoir « tout prévu », c'est un équilibre statique garanti par l'exhaustivité de la démarche ; mais d'autre part, en tant que *démarche*, il représente l'activité intellectuelle la plus aiguë, la plus mobile dans la mise en oeuvre des outils intellectuels et, par son explicitation, peut-être la mise en évidence d'une méthode dont le souci (il est vrai, philosophique pendant bien longtemps) est ancien. Et c'est là l'intérêt de notre troisième point.

c) *Forme et contenu.* - Piaget distingue entre forme et contenu (Apprentissage et connaissance, 1959), entre propriétés logico-mathématiques et propriétés physiques. Mais il montre que l'apprentissage des formes et des contenus suppose toujours présente en préalable une logique de l'apprentissage, une forme. On peut se demander si la démarche même de construction d'un algorithme ne constitue pas une « forme », une logique d'appréhension du réel, ou, peut-être, pour le resituer par rapport aux outils formels dont dispose le

(i) PIAGET, *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*.

sujet, une forme au second degré. Il semble tentant de qualifier cette forme de méthode.

On peut retrouver là le sens des attentes de Landa quant à l'intérêt des algorithmes en psychologie. Il suggère dès ses premiers articles, non pas d'apprendre systématiquement les algorithmes, mais d'apprendre à les construire, au titre de méthode de pensée.

On retrouve dans cette direction, de façon analogue, les propriétés les plus indiscutées de l'enseignement programmé, c'est-à-dire non pas son efficacité didactique (qui est encore un sujet de controverse), mais son efficacité dans la formation du maître, par la prise de conscience qu'il provoque sur les besoins du niveau d'analyse, la mise en ordre, etc.

CONCLUSION

Nous avons dans ce travail abordé les algorithmes du point de vue des comportements que l'on peut observer chez le sujet, soit quand il construit un algorithme, soit quand il l'utilise. Pour essayer d'éclairer ces divers comportements, nous avons proposé quelques éléments pour un modèle du sujet en nous référant à la psychologie cognitive et aux travaux de Piaget.

Plusieurs points restent cependant largement ouverts qui ne peuvent être abordés ici. En particulier, la notion de méthode qui a été associée à celle d'algorithme, exigera des développements complémentaires.

BIBLIOGRAPHIE

- AEBLI, H. (1966). - *Didactique psychologique*, Delachaux & Niestlé. BISSERET, A., ENARD, C. (1970). - Le problème de la structuration de l'apprentissage d'un travail complexe (MICUP) - *Bulletin de Psychologie*, XXIII, n° II-12.
- CHAPIRO, J. H. (1967). - Ob algoritmizatsii processa formirovaniia poniatii (Algorithmisation du processus de formation des concepts) - *Voprosi Psichologii*, 2.
- CUNY, X., DERANSART, P. (1971). - *Éléments de formalisation pour servir à l'analyse psychologique d'un travail de contrôle*. Doc. int. du Labo. de Psych. du Trav. de l'EPHE.
- DIENES, Z. P. (1965). - *Comprendre la mathématique*, OCDL.
- ENARD, C. (1966). - *Essai d'enseignement programmé appliqué à l'apprentissage d'éléments d'opérations aériennes*. Rapport CERP, CO 1060 R i i.
- ENARD, C. (1968). - Relations entre l'analyse du contenu et l'analyse des opérations - *Travail humain*, 31, 1-2, 25-46.
- GAGE, C. P., MORABIN, I. S. et LEWIS, B. N. (1966). - Algorithms for decision making, in *Aspects of Educational Technology*. The proceeding of the Loughborough PI Conférence, avril 1966, Dereick Unwin édit., Methoen. INHELDER, B. (1954). - Les attitudes expérimentales de l'enfant et de l'adolescent - *Bulletin de Psychologie*, t. VII, n° 5, P. 272-282.
- INHELDER, B., PIAGET, J. (1955). - *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. PUF.
- BIRUXOV, B. H., LANDA, L. M. (1969). - *Analyses méthodologiques du concept d'algorithme en psychologie et en pédagogie, en liaison avec les problèmes d'enseignement*. Traduction Unesco, 1970.

- LANDA, L. N. (1959). - De la formation chez les élèves d'une méthode générale d'activité intellectuelle leur permettant de résoudre les problèmes - *Vop. Psych.*, 3.
- LANDA, L. N. (1962). - L'enseignement aux élèves des écoles des méthodes de pensée rationnelle et le problème des algorithmes - *Vop. Psych.*
- LANDA, L. N. (1966). - *Diagnostic et enseignement programmé*, IVe Conférence Internationale sur l'Enseignement programmé et les machines à enseigner, Klett et Oldenbourg, Munich.
- LEPLAT, J. (1971). - *Diagnostic et résolution de problèmes dans le travail*. Rapport préparatoire au Symposium I du Congrès de Liège de l'Association internationale de Psychologie appliquée (juillet 1971).
- LEPLAT, J., BISSERET, A. (1965). - Analyse des processus de traitement de l'information chez le contrôleur de la navigation aérienne - *Bull. du CERP*, XIV, 1-2, 51-67.
- Mix, A. (1970). - Le calcul numérique dans l'enseignement du premier cycle - *Recherches pédagogiques*, no 39, P. 20-30.
- MOUNOUD, P. (1970). - Développement des systèmes de représentation et de traitement chez l'enfant. Ronéoté. A paraître au *Bulletin de Psychologie*.
- MOUNOUD, P. (1971). - *Les notions d'instrument et de résolution de problèmes* (document interne).
- PIAGET, J. (1957). - Logique et équilibre dans les comportements du sujet, in *Logique et équilibre (EEG II)*. PUF, p. 27-117.
- PIAGET, J. (1959). - *Apprentissage et connaissance : I) EEG VII, Apprentissage et connaissance*, p. 21-51 ; II) *EEG X, La logique des apprentissages*, p. 159-183.
- POHL, L. (1965-1966). - La signification des schémas modèles de pensée logique et son application à la rationalisation de l'enseignement des langues étrangères - *Cizji Jaziki ve skole*, 3, 10, -108, et 4, 149-155.
- TALYZINA, M. F. (1968). - *Principes théoriques de l'enseignement programmé*. Moscou, éd. « Znanje » (traduit par l'Unesco).
- VERGNAUD, G. (1968). - *Pour un modèle algorithmique du sujet*. Doc. ronéotypé.
- VERGNAUD, G. (1968). - *La réponse instrumentale comme solution de problèmes contribution*. Thèse de 3e cycle, Paris.
- VERMERSCH, P. (1971). - Les algorithmes en psychologie et en pédagogie, définition et intérêt - *Travail humain*, vol. 34, 1, p. 157-176.

SUMMARY

Some aspects of algorithmics behaviors. - This study is concerned with some aspects of algorithmics behavior. The first part tell about the construction and use of algorithmcis. The second part assume sonie elements for a subject model which referes to cognitive psychology and Piaget's theories. IVe concluded with the concept of method.