

Au début n'est pas le verbe, encore moins la théorie. Au début est l'action, ou mieux encore l'activité adaptative d'un être dans son environnement. C'est par l'action que commence la pensée : plus exactement et plus complètement par l'action, la prise d'information sur l'environnement, le contrôle des effets de l'action, et la révision éventuelle de l'organisation de la conduite.

Rien de tout cela ne serait possible, chez l'homme en tout cas, sans la représentation : c'est-à-dire la formation en pensée d'objets, de propriétés, de relations, de transformations, de circonstances, de conditions, de relations fonctionnelles de ces objets entre eux et avec l'action. Pour tout dire, rien ne serait possible sans la conceptualisation. L'objet de ce chapitre est de le montrer avec des exemples empruntés à plusieurs registres de l'activité humaine. Il est aussi de montrer que la conceptualisation sous-jacente à l'action ne se suffit pas toujours à elle-même, et qu'elle est profondément transformée lorsqu'elle est explicitée, débattue, et organisée en un système cohérent de concepts, de principes et d'énoncés, c'est-à-dire lorsqu'elle prend une forme théorique.

Pour articuler entre eux savoirs d'action et savoirs théoriques, la psychologie cognitive a besoin de quelques concepts clairs. Ce qui est proposé ci-après se veut à la fois économique et non réducteur :

- économique en ce sens qu'il est fait appel à peu de concepts, fortement intégrés entre eux, pour rendre compte de l'organisation de l'activité et du fonctionnement de la représentation ;
- non-réducteur, en ce sens que ce système de concepts ne peut être amputé d'aucun d'entre eux, ce qui interdit de ramener la pensée à la seule action, ou au seul langage, ou au calcul ou au désir, bien que ces différents aspects soient tous indispensables à l'analyse.

On peut considérer que le développement cognitif consiste d'abord dans la formation, l'extension et la différenciation d'un répertoire de conduites et d'activités organisées. La plupart de nos connaissances sont des compétences.

Le premier registre, exemplaire, est celui des compétences perceptivo-gestuelles :

- compétences perceptivo-gestuelles du bébé qui apprend à se lever en s'accrochant aux barreaux de son parc ou aux jambes de son père ; ou du petit garçon de 4 ans qui apprend à taper dans un ballon de football ;
- compétences perceptivo-gestuelles de la danseuse et du sportif de haut niveau ;
- compétences perceptivo-gestuelles de l'ouvrier maçon, de l'artisan, ou de l'artiste.

Dans ces compétences la pensée intervient presque en permanence : pour catégoriser l'information et sélectionner celle qui est pertinente, pour inférer en situation les buts et sous-buts, les gestes à faire, les hypothèses à tester, les informations complémentaires à rechercher, les contrôles à effectuer. Il faut remarquer au passage que l'expression « sensori-moteur » désigne très mal ce domaine de compétences, puisque la motricité est organisée en gestes structurés et finalisés, et la prise d'information en percepts également très structurés, non pas en simples sensations.

Un deuxième registre est celui des savoirs impliqués dans la maîtrise des situations réputées complexes et intellectuelles, comme les savoirs professionnels de l'expert, du spécialiste, et comme les savoirs scientifiques et techniques. Les savoirs théoriques sont loin d'y occuper la place toute-puissante que la culture savante et l'école privilégient. Il existe dans les compétences de l'expert beaucoup de savoir-faire (ou de savoirs d'action) qu'il est souvent incapable de restituer à autrui sous une forme explicite. Cette connaissance résulte principalement de l'expérience et des situations rencontrées.

La recherche en didactique a d'ailleurs tiré de cette observation une ligne théorique essentielle : l'enseignement efficace comporte nécessairement une part de confrontation de l'apprenant à des situations dans lesquelles celui-ci est conduit à développer des conduites nouvelles. Si la connaissance est une adaptation, comme Piaget et d'autres psychologues l'ont montré, alors il faut mettre en scène et analyser les occasions de cette adaptation.

Considérons maintenant un troisième registre, celui de la forme linguistique et symbolique des connaissances et plus généralement de la communication entre individus à propos de situations à maîtriser, ainsi que de points de vue, de vérités et de théories à débattre. Sur le terrain même des activités langagières, des savoir-faire de toutes sortes et d'une grande subtilité sont impliqués : dans les choix lexicaux, dans l'organisation syntaxique des prédications, dans l'enchaînement des énoncés, dans l'argumentation et la preuve. La maîtrise déjà très grande de sa langue maternelle par un enfant de 4 ans 1/2 repose sur un ensemble prodigieux de connaissances linguistiques en acte, que les psycholinguistes n'ont pas encore totalement analysées. La maîtrise rhétorique d'un homme politique en campagne électorale ou d'un grand conférencier est à la fois celle d'un spécialiste et celle d'un connaisseur de la langue, connaissance qu'il est d'ailleurs impossible de cerner, sans procéder en même temps à l'analyse du contenu de ce qui est dit ; tant il est vrai que la conceptualisation du contenu est indispensable à la maîtrise de la forme. Ceci est vrai aussi pour l'énonciation des savoirs théoriques dans des formes symboliques particulières comme les algèbres, les graphiques, les tableaux, les langages informatiques.

Un quatrième registre des compétences humaines est particulièrement concerné par le décalage entre savoir-faire et théorie, c'est celui des compétences sociales. Dans l'interaction avec autrui, dans l'interprétation des signes intentionnels et non intentionnels présents dans les conduites d'autrui, dans le choix des prises de parole et des silences, dans la sélection de ce qu'il faut dire et de sa forme, des questions, des doutes et des affirmations, se manifestent des savoirs très importants, et décisifs pour l'adaptation de l'individu à son environnement. La recherche scientifique ne s'est pas beaucoup intéressée, jusqu'à aujourd'hui, à ces savoirs.

Le concept de schème

La psychologie cognitive a besoin d'un cadre théorique pour penser les relations entre savoirs d'action et savoirs théoriques, notamment pour penser à la fois les décalages et les liaisons entre eux. S'il n'y avait pas décalage on ne comprendrait pas comment les savoirs d'action permettent d'agir dans des domaines où la théorie est pauvre ou inexistante. S'il n'y avait pas liaison, on ne comprendrait pas comment l'action peut se nourrir de la théorie et la théorie se nourrir de l'action.

La clé de voûte du cadre théorique proposé ici est le concept de schème. Avant de le définir, partons de quelques exemples.

L'exemple du porcher

Une équipe d'ergonomes avait été invitée à faire l'étude des postes de travail d'un abattoir de porcs, en vue de sa modernisation. A un moment ils s'intéressent à un porcher qui, à l'entrée de l'abattoir, dirige les porcs avec un bâton vers le lieu du sacrifice. Le directeur et les cadres de l'abattoir déclarent qu'il s'agit d'un poste peu qualifié, qu'il est inutile d'étudier ce poste de travail, occupé depuis vingt ans par la même personne, et ils ajoutent « ce n'est pas très sorcier ». Les ergonomes insistent et s'aperçoivent que ce porcher est l'une des personnes les plus importantes de l'abattoir. Pourquoi ? parce que les porcs sont cardiaques, qu'il est très important qu'ils ne meurent pas d'une crise cardiaque avant d'arriver sous le couteau du boucher, leur viande étant alors perdue ; d'autre part la viande d'un animal stressé étant de moins bonne qualité, elle se vend à un prix moins élevé sur le marché. Ce monsieur avait une compétence critique : il disposait de toute une série d'indices, qui lui permettaient de décider quels animaux il fallait acheminer le plus vite possible. Il s'était construit au cours de son expérience des catégories relativement fines pour prendre rapidement des décisions, qu'aucune autre personne n'aurait été capable de prendre aussi bien que lui ; et il disposait aussi avec son bâton, de gestes éprouvés pour sélectionner et diriger les animaux sans les traumatiser.

Les gestes du sportif

Prenons un grand sportif comme Bubka, le champion du saut à la perche. L'organisation et le déroulement de ses gestes est une pure merveille : pendant la course et avec la perche, au moment où il plante la perche et où il s'élève vers la barre à franchir, au moment où il doit s'élever encore par un mouvement de tout le corps qui va lui permettre de franchir la barre en s'arrondissant autour de l'obstacle, et enfin pendant la chute de manière à ne pas se blesser. Cette organisation est un schème ! et un schème d'une grande complexité, composé de plusieurs sous-schémes. Pour avancer sur le plan théorique à partir de cet exemple, je préciserai plusieurs points. D'abord le but à atteindre est clair et suppose un certain nombre de sous-buts et d'anticipations. Ensuite la conduite de Bubka est remarquablement réglée et consiste en un ensemble bien planifié de prises d'information, d'actions, de contrôles. Cet ensemble n'est pas pour autant un pur automatisme, et un certain ajustement intervient à chaque phase ; il y a donc calcul en pensée au cours du déroulement lui-même du saut : un schème comporte des inférences. Enfin rien ne serait possible sans une représentation opératoire des distances, des forces, de l'élasticité de la perche, du décours temporel des mouvements, de la répartition des masses du corps.

Les techniques actuelles d'entraînement des grands sportifs passent bien entendu par la répétition, mais cette répétition s'accompagne d'un regard incisif qui est celui des entraîneurs, des enregistrements vidéo, des ralentis, du commentaire critique qu'opère la micro-société à laquelle Bubka appartient, ainsi que des prises de conscience après coup de Bubka lui-même. On n'apprend pas à sauter à la perche seulement en sautant à

la perche. L'amélioration du schème passe par une théorisation au moins partielle des éléments qui le composent.

L'exemple des ingénieurs de conception

Pour aller un peu plus loin dans l'analyse des rapports entre pratique et théorie je vais prendre un exemple touchant un travail intellectuel de haut niveau, celui des ingénieurs de conception d'une grande entreprise d'aéronautique et de technologie spatiale. Les ingénieurs qui arrivent dans ce département ont une très bonne formation de base, mais ne sont pas en mesure, du jour au lendemain, d'effectuer ce qu'on attend d'eux. Ils vont donc apprendre. Ils disposent de logiciels, de diverses ressources documentaires, de l'aide du chef de service ou du responsable de leur équipe, ainsi que d'ingénieurs plus anciens. Il faut une bonne année pour qu'un ingénieur maîtrise à peu près les moyens dont il dispose et soit pleinement opératoire. Il lui faudra éventuellement sept à dix ans pour devenir un expert, s'il le devient. Comme expert il aura à l'évidence une compétence critique, qu'éventuellement personne d'autre ne partagera avec lui ; mais comme ingénieur tout-venant, il a déjà en un certain sens une compétence critique, puisqu'il lui aura fallu surmonter beaucoup de difficultés pour l'acquérir. Le caractère critique d'une compétence ne se mesure pas seulement au caractère difficilement remplaçable de l'individu qui la possède, mais aussi à la difficulté qu'il y a à l'acquérir. On voit ainsi comment le développement cognitif des élèves ordinaires peut lui-même être jalonné de compétences critiques : ce sont les compétences non aisément acquises.

Revenons à nos ingénieurs. L'entreprise à laquelle ils appartiennent les a engagés dans un processus d'écriture de guides méthodologiques, dans lesquels ils sont censés consigner leur savoir-faire. L'objectif de ces guides est double : capitaliser les compétences pour les conserver dans l'entreprise, offrir une aide substantielle à la formation des ingénieurs arrivant dans le service. Il n'est pas demandé aux auteurs des guides de consigner dans les guides toutes leurs connaissances scientifiques et techniques (une bonne partie d'entre elles peut être trouvée dans d'autres documents), mais seulement les savoir-faire spécifiques de leur spécialité technique : dimensionnement de telle ou telle partie d'un lanceur, aérodynamique, propulsion solide, etc. La lecture de ces guides méthodologiques montre que les auteurs ont une idée très différente de ce qu'est un savoir-faire. Certains guides sont écrits sur un mode très directif : « Il faut faire ceci, puis cela, puis cela... » D'autres fournissent une abondance de modèles mathématiques, d'autres encore, assez rares, offrent plusieurs choix de solutions et tentent d'en comparer les avantages et les inconvénients en matière de fiabilité et de coût par exemple, et selon les valeurs prises par certains paramètres.

Dans l'enseignement également on peut observer des pratiques qui s'en tiennent à la bonne méthode sans aller chercher plus loin. Plus rares sont celles qui offrent un véritable choix aux élèves, et leur présentent un commentaire raisonné des avantages et inconvénients de chaque méthode envisagée. Or c'est justement en cela que consiste une connaissance opératoire : raisonner et agir en fonction de certaines conditions. C'est justement cela que fait un schème, puisqu'un schème n'est nullement un stéréotype mais une manière de régler son action en fonction des caractéristiques particulières de la situation à laquelle on s'adresse, ici et maintenant. Or cette question est cruciale pour les ingénieurs dont je viens de parler, parce qu'ils sont amenés aujourd'hui après l'abandon du programme Hermès et de certains programmes militaires, et après la

fin de la phase de conception d'Ariane 5, à conduire des études plus courtes, répondant à des demandes plus modestes et plus variables. La plasticité et l'adaptabilité des méthodes qu'ils doivent utiliser est semblable à la plasticité et à l'adaptabilité des schèmes.

On peut aussi retenir une grande leçon de cet exemple des ingénieurs de conception : c'est que leur savoir, construit sur une longue période de temps, n'est pas suffisamment représenté dans les traités scientifiques et les rapports qu'ils ont sur leurs étagères et dans leurs tiroirs, et que ce savoir est difficile à expliciter et à communiquer. Le raffinement des solutions et des alternatives qu'ils sont capables de mettre en œuvre dans l'action, le réseau de conseils et d'avis qu'ils savent aller rechercher si cela est nécessaire, sont mal représentés dans les documents qu'ils rédigent, y compris lorsqu'on leur demande justement de restituer leur savoir-faire. Ce savoir-faire a été élaboré au cours d'une longue expérience : l'ingénieur est à peine mieux en état d'en rendre compte que l'ouvrier. La même idée s'applique à tous les professionnels expérimentés : ils ne sont que faiblement en mesure de traduire en explications claires leurs pratiques professionnelles : ils sont en particulier peu capables de spécifier les pratiques alternatives dont ils disposent et les moyens par lesquels ils adaptent ces pratiques aux différentes conditions qui peuvent se présenter. D'une manière générale ils sont faiblement conscients des décisions et des jugements implicites sur lesquels repose leur action.

Partant du concept de *compétence* et même de celui de *compétence critique* à travers les exemples évoqués ci-dessus, nous sommes ainsi conduit au concept de *schème*. Il nous faut maintenant le définir et l'analyser pour mieux comprendre son rôle théorique. La démonstration ci-après repose en premier lieu sur l'idée que le concept de compétence renvoie d'abord au résultat de l'activité et insuffisamment à l'organisation de l'activité elle-même. En effet la *compétence* d'un individu peut être définie schématiquement :

- soit par le fait qu'il est capable de faire face à une certaine classe de situations (ou à un ensemble de classes de situations) ;
- soit par le fait qu'il dispose d'une procédure ou d'une méthode qui lui permet de faire mieux qu'un autre (procédure plus rapide, plus générale, plus économique, moins aléatoire...) ;
- soit par le fait qu'il dispose d'un répertoire de procédures ou de méthodes alternatives qui lui permettent de s'adapter de manière plus fine aux différents cas de figure qui peuvent se présenter, en fonction de la valeur prise par les différentes variables de situations.

La compétence critique, celle qui fait la différence entre un individu et un autre (et d'ailleurs aussi entre une équipe et une autre, entre une entreprise et une autre) relève en général de l'un ou l'autre des trois critères ci-dessus parfois des trois à la fois. La compétence renvoie ainsi inéluctablement à l'analyse de l'activité.

Le concept de schème, introduit d'abord par Kant est repris par Piaget dans ses premières analyses du développement du bébé. On peut dire que Piaget recherche alors un concept qui, à la manière du concept de Gestalt chez les psychologues allemands de l'époque, permettrait de rendre compte du fait que l'action forme une totalité. Ce n'est pas un hasard si Piaget illustre d'abord le concept de schème par des exemples pris dans l'activité qu'il appelle « sensorimotrice » (et que nous devrions appeler « perceptivo-gestuelle »). C'est en effet dans ce registre que se forment les premières organisations stables et visibles de l'activité du bébé, qui

prennent appui sur des formes réflexes et instinctives. C'est aussi à partir de ce registre que se développerait selon Piaget, la représentation symbolique, par intériorisation de l'action et de la perception. Le geste joue ainsi un rôle crucial dans la théorie piagétienne de la représentation.

Mais au-delà du geste, c'est à l'action tout entière, y compris aux opérations intellectuelles que s'applique le concept de schème. Il est temps de le définir. Nous le ferons de quatre manières différentes, en progressant à chaque fois d'un pas dans l'analyse.

1 / Le schème est *une totalité dynamique fonctionnelle*. – Cela signifie en clair que le schème est une unité identifiable de l'activité du sujet, qui correspond à un but identifiable, qui se déroule selon un certain décours temporel (et donc une dynamique), et dont la fonctionnalité repose sur un ensemble d'éléments peu dissociables les uns des autres.

2 / Le schème est *une organisation invariante de la conduite pour une classe donnée de situations*. – Cette unité-totalité qu'est le schème s'adresse à une classe de situations, laquelle peut être identifiée comme telle et caractérisée, au moins partiellement. Ce qui est invariant c'est l'organisation de la conduite, et non la conduite elle-même. En d'autres termes un schème n'est pas un stéréotype, et un même schème peut engendrer des conduites relativement différentes en fonction des situations singulières auxquelles il est amené à s'adresser. Le décours temporel de la conduite (choix des actions, des prises d'information, des contrôles) peut ainsi suivre des trajectoires très différentes selon les valeurs prises par les variables de situation. Le schème est donc un universel, en ce sens qu'il renvoie à une classe. Cette définition permet de comprendre que le concept de schème est pertinent pour parler des conduites qui s'adressent à des situations familières voisines entre elles, fussent-elles différentes les unes des autres. Elle ne permet pas *ipso facto* de comprendre comment le concept de schème peut être également fécond pour analyser les conduites improvisées par un individu devant une situation nouvelle. Nous aurons besoin d'une troisième définition pour cela.

Mais il est utile de faire immédiatement deux remarques :

Il existe des schèmes pour tous les domaines de l'activité (gestuels, techniques, langagiers, symboliques, sociaux et affectifs) ; ces schèmes sont hiérarchiquement organisés, les uns étant les schèmes élémentaires destinés à être intégrés dans des schèmes de plus haut niveau, et permettant d'organiser des activités plus complexes. C'est ainsi que plusieurs gestes élémentaires sont intégrés dans le geste du sportif, de la danseuse ou du conducteur de machine-outil, et que les schèmes phonologiques, syntaxiques et lexicaux, sont intégrés dans les schèmes énonciatifs, eux-mêmes intégrés dans les schèmes de dialogue avec autrui. Des hiérarchies semblables existent dans les schèmes des opérateurs sur machine, des régleurs, des comptables, des techniciens, des ingénieurs ou des managers.

Les schèmes se développent en interaction les uns avec les autres, et forment des répertoires qui s'adressent à des domaines divers de l'activité. En outre ce développement s'effectue le plus souvent dans la longue durée de l'expérience. Ce n'est pas seulement l'enfant qui met des années à développer des schèmes opératoires dans les domaines de l'arithmétique, des activités sportives, de la musique ou de l'expression orale et écrite ; c'est aussi l'ouvrier d'entretien, l'ingénieur, la secrétaire et le manager. La durée est

une caractéristique essentielle de la formation de l'expérience. La raison de fond est que la formation des connaissances opératoires consiste à la fois dans des gestes et pratiques difficiles à acquérir et dans des conceptualisations subtiles. Ces conceptualisations comportent beaucoup d'aspects différents pour une même classe de situations, et sont associées à des conditions et limites de validité d'une grande diversité.

3 / Un schème est *formé de plusieurs catégories d'éléments, tous indispensables : des buts et anticipations, des règles d'action, des possibilités d'inférence en situation, et des invariants opératoires*. – Les buts donnent aux schèmes leur fonctionnalité, même si cette fonctionnalité n'est pas évidente, en première analyse.

Les règles d'action constituent la partie générative du schème, celle qui engendre l'activité. Ce sont en fait des règles de conduite puisqu'elles engendrent non seulement l'action au sens strict (qui est une transformation de ce qui est donné), mais aussi la prise d'information et le contrôle.

Les invariants opératoires constituent la partie la plus proprement cognitive du schème, puisqu'ils consistent dans les concepts-en-acte et les théorèmes-en-acte qui permettent de sélectionner et interpréter l'information pertinente et de la traiter. Le schème qui s'adresse à une classe de situations bien identifiée comporte tous les invariants opératoires nécessaires à la reconnaissance des objets présents dans ces situations et des propriétés et relations qui sont nécessaires à l'évocation des règles d'action pertinentes, compte tenu du but. Cela ne signifie pas qu'un même concept ou un même théorème ne soient pas éléments d'autres schèmes ; c'est même cela qui permet au sujet de naviguer dans son répertoire de schèmes lorsqu'il ne dispose pas d'un schème tout fait et disponible pour faire face à une situation nouvelle.

Nous disions plus haut qu'il est assez aisé de voir l'intérêt du concept de schème pour comprendre les conduites développées par un même sujet dans des situations familières voisines entre elles. Nous disions aussi que, même dans ce cas, les inférences en situation sont nécessaires puisque aucune situation singulière n'est exactement identique à une autre et que la fonctionnalité du schème tient justement aux possibilités qu'il offre de tenir compte de ces singularités. Nous voyons maintenant que, si un schème est une unité-totalité fonctionnelle, ses éléments n'en peuvent pas moins appartenir à plusieurs schèmes, ce qui permet au sujet de naviguer et d'expérimenter plusieurs ressources lorsqu'il est confronté à une situation pour laquelle il ne dispose d'aucun schème. Il doit alors décomposer et recombinaison des éléments des schèmes déjà formés, principalement des invariants opératoires et des règles d'action, éventuellement en découvrir ou en inventer de nouveaux. Les possibilités d'inférence et de calcul sont donc accompagnées dans le fonctionnement de la pensée, de moyens heuristiques de type analogique, métaphorique et métonymique, ainsi que de possibilités d'invention. On ne comprend pas la pensée si l'on n'en voit pas le double caractère : systématique et opportuniste.

4 / Le schème est *une fonction temporalisée de l'espace à n dimensions des informations disponibles dans l'espace à n dimension des actions possibles, n et n' étant en général très grands*. – Cette définition, pour intéressante qu'elle soit du point de vue théorique, ne permet pas d'aller très loin, justement parce que n et n' sont très grands et que le schème est une fonction temporalisée, et s'inscrit donc dans un décours temporel : la conséquence est que l'espace des informations disponibles et l'espace des actions possibles varient au

cours du temps. L'exemple du saut à la perche le montre sans ambiguïté, celui de la manœuvre d'atterrissage chez un pilote, ou celui du déroulement de l'algorithme de la division également.

Remarquons au passage que les algorithmes sont des schèmes, et qu'en informatique ils ont bien une forme de fonction. C'est d'ailleurs la théorie des algorithmes, notamment le concept de classe de situations qui nous a permis de définir le concept de schème un peu plus analytiquement que Piaget ne l'avait fait. Mais si les algorithmes sont des schèmes, les schèmes ne sont pas tous des algorithmes, et ils ne sont pas en général effectifs, en ce sens qu'ils n'aboutissent pas nécessairement au résultat visé. Le plus souvent ils ne sont qu'efficaces, ce qui n'est pas si mal.

Un exemple d'analyse

Supposons que des élèves d'un lycée agricole soient confrontés au cours de l'établissement d'un dossier, au calcul du nombre de personnes susceptibles d'être nourries pendant un mois avec la production d'une grande ferme de la Beauce. Ils disposent d'informations sur la surface cultivée, sur le rendement moyen, sur la quantité de blé nécessaire à la fabrication de 100 kg de farine, et sur la consommation moyenne de pain par personne. A une étape de leur travail, ils doivent calculer la quantité de farine correspondant à 972 t de blé (la production de la ferme).

Il existe plusieurs procédures, inégalement disponibles chez les élèves, notamment :

- le produit en croix qui est beaucoup enseigné, mais peu utilisé ;
- le passage par la valeur unitaire, c'est-à-dire la quantité de farine fabriquée avec un kilogramme de blé ;
- l'utilisation du coefficient de proportionnalité inverse de celui qui fait passer de 100 à 120, soit

$$\frac{100}{120} = 0,83$$

- la recherche du rapport entre 972 000 et 120.

Supposons qu'un groupe d'élèves, après avoir cherché en vain pendant une vingtaine de minutes se décide, sur proposition de l'un d'entre eux, pour la dernière procédure :

- le but à atteindre est assez clair ;
- les actions engendrées par le schème mis en œuvre ici ne sont pas trop nombreuses :
 - choix de l'opération 972 000 divisé par 120 ;
 - exécution de l'opération soit à la main, soit avec une machine de poche ;
 - multiplication de 100 kg de farine par le rapport ainsi trouvé ;
- les invariants opératoires peuvent maintenant être identifiés. Nous allons les exprimer de plusieurs manières, afin de mettre en évidence que la conceptualisation implique aussi des problèmes d'explicitation et de symbolisation.

- a. Si on sait combien de fois 120 kg de blé est contenu dans 972 000 kg de blé, alors on saura par combien de fois il faut multiplier 100 kg de farine (sous-entendu : pour trouver la quantité de farine

correspondant à 972 000 kg de blé) ;

- b. Le rapport entre 972 000 kg et 120 est un rapport entre grandeurs de même nature, donc un rapport sans dimension, un scalaire. L'opportunité de son calcul est associée au raisonnement suivant :

$$f(972\ 000) = f(\lambda \cdot 120) = \lambda \cdot f(120) = \lambda \cdot 100.$$

L'inférence $f(\lambda \cdot 120) = \lambda \cdot f(120)$ est un cas particulier d'un théorème général des fonctions linéaires $f(\lambda \cdot x) = \lambda \cdot f(x)$. C'est la forme théorique d'une connaissance qui est rarement exprimée sous cette forme par les élèves. Ce n'en est pas moins un théorème clé dans le raisonnement. C'est un théorème-en-acte : il intervient de manière décisive dans l'action, ici dans le choix de la suite d'opérations. Le concept de rapport scalaire est pareillement un concept-en-acte.

- c. Le tableau ci-après fait mieux comprendre la propriété d'isomorphisme ici utilisée.

Ces questions de formulation et de représentation ne sont pas subalternes puisque les élèves doivent communiquer et s'expliquer entre eux, notamment si l'un ou l'autre n'est pas convaincu de la validité du raisonnement. En outre l'enseignant peut souhaiter donner une portée plus générale au raisonnement ainsi découvert, soit par l'élargissement du domaine numérique, soit par la transposition du raisonnement dans d'autres situations de proportionnalité.

On voit alors que la forme *a*) se prête mal à la généralisation, que la forme *b*) qui est excellente du point de vue mathématique est en même temps excessivement formelle pour certains élèves. La forme *c*) peut ainsi présenter quelque intérêt didactique, notamment parce que les colonnes et les lignes du tableau établissent les correspondances pertinentes sur lesquelles est fondé la propriété d'isomorphisme, c'est-à-dire la multiplication par λ .

Si toutefois on s'intéresse non seulement à la propriété énoncée ci-dessus des fonctions linéaires, mais aussi au système de toutes les autres, alors ce sont les formes de type *b*) qui permettent l'énoncé le plus économique des concepts et des théorèmes de l'ensemble du système. La théorie formalisée prend l'avantage.

L'explicitation et la théorisation

La mise en mots des connaissances-en-acte est difficile. Leur organisation en systèmes théoriques, grâce à l'explicitation, au débat avec autrui et à la formalisation, est encore plus difficile.

Et pourtant c'est bien à cela que les élèves sont tous conviés par la culture scientifique et technique. La théorie n'est pas un épiphénomène, pas plus que la représentation. Elle n'est ni gratuité, ni même rationalisation après coup de l'efficacité de l'action. Certes la rationalisation après coup joue un rôle dans la production de la théorie, mais la théorie est aussi opératoire : « Il n'y a rien de plus pratique qu'une bonne théorie » disait John Dewey. Il faut donc analyser le rôle du langage et des systèmes symboliques dans l'identification des invariants, dans leur généralisation, dans la délimitation de leurs domaines de pertinence

et de validité, dans leur intégration en systèmes. Sans le langage naturel et sans le symbolisme, la théorie serait impossible. Les concepts et théorèmes changent de statut lorsqu'ils sont exprimés, discutés, intégrés, dans des systèmes théoriques cohérents. Les schèmes responsables de l'énonciation des connaissances-en-acte ont donc une importance décisive. La théorie ne va pas sans une pratique théorique.

Certains enchaînements de phénomènes cognitifs sont saisissants. Dans l'action, nous ne prélevons qu'une petite partie de l'information présente et nous en utilisons une partie plus petite encore. Dans la communication nous sommes encore plus sélectifs, et laissons à autrui la charge de reconstituer, à partir des bribes d'énoncés et des rares énoncés complets, qui sont le lot habituel de la communication orale dans le travail, le sens des messages que nous lui envoyons. Il n'est besoin, pour s'en convaincre, que d'observer des dialogues entre les membres d'une équipe habitués à travailler ensemble. Ces dialogues sont la plupart du temps laconiques et allusifs. Et ils suffisent cependant à la compréhension, le plus souvent. La théorie est encore plus laconique, d'un certain point de vue en tout cas, puisqu'elle est totalement décontextualisée.

En fait, le discours théorique relève moins de la fonction de communication, que de la fonction de représentation des objets et de leurs relations. La théorie est la forme prédicative de la connaissance par excellence, comme le schème est par excellence la forme opératoire de la connaissance. C'est le concept d'invariant opératoire qui permet d'articuler en une vision unitaire et synthétique les deux formes de la connaissance. C'est lui qui permet d'éviter la vision schizophrénique de la connaissance que nous présentent certains courants de recherche, par exemple ceux qui opposent, sans les articuler entre eux, savoirs procéduraux et savoirs déclaratifs, et d'une manière plus générale, ceux qui minimisent la part de la conceptualisation dans l'efficacité de l'action, et celle de l'action dans l'élaboration théorique.

Regarder la théorie comme une activité finalisée, organisée par des schèmes pour la mise en mots et la mise en symboles, devrait permettre aux chercheurs d'adopter d'autres problématiques que celles qui ont cours le plus souvent aujourd'hui. De même l'étude des invariants opératoires est de nature à leur permettre de mieux comprendre la conceptualisation sous-jacente à l'action. Ce faisant les chercheurs seront mieux en mesure d'analyser la relation dialectique qui intervient en permanence dans l'éducation et le travail, entre d'un côté l'action en situation, la pratique et l'expérience et de l'autre côté la verbalisation et la théorie.

Il n'est pas possible de faire une théorie de la représentation sans le concept d'homomorphisme, puisqu'un système ne peut permettre de calculer sur un autre système sans qu'il existe certains homomorphismes du second dans le premier. Dans l'action du bébé qui ne parle pas encore, il faut bien qu'une représentation du réel intervienne, avec son cortège d'invariants opératoires ; ceux-ci précèdent donc pour partie le langage, et sans eux le bébé serait même incapable d'apprendre à parler puisque cet apprentissage repose fondamentalement sur l'association de concepts-en-acte et théorèmes-en-acte avec des formes lexico-syntaxiques invariantes.

Or on ne peut pas s'arrêter là puisque l'usage d'un système symbolique (ou de plusieurs) soulève en outre le problème des rapports entre signifiés et signifiants. Ces rapports ne sont pas biunivoques comme chacun sait. De telle sorte qu'il existe au moins trois sources d'écarts possibles entre le réel et les signifiants utilisés dans la communication et la théorie : l'écart entre le réel et les invariants opératoires, l'écart entre les invariants

opératoires formés par le sujet et les signifiés habituels de la langue, l'écart enfin entre les signifiés et les signifiants. Il faut donc renoncer à l'idée positiviste d'une langue bien faite, qui dirait tout des objets de l'univers, et de manière univoque. Nous sommes condamnés à l'à-peu-près. L'à-peu-près de la théorie est en général plus précis que l'à-peu-près de la conceptualisation liée à l'action. Mais ceci ne peut être vrai que si la théorie existe. Or la théorie reste absente de domaines entiers de l'expérience humaine. Il y a donc un bel avenir pour les savoirs d'action.

Brève bibliographie

- Bruner J. (1983), *Le développement de l'enfant. Savoir-faire, savoir dire*, Paris, PUF.
- Piaget J. (1949), *Introduction à l'épistémologie génétique*, Paris, PUF.
- Piaget J. (1967), *Biologie et connaissance*, Paris, Gallimard.
- Russel B. (1910), La théorie des types logiques, *Revue de métaphysique et morale*, 18,263-301.
- Tarski A. (1971), *Introduction à la logique*, Paris, Gauthier-Villars.
- Vergnaud G. (1981), *L'enfant, la mathématique et la réalité*, Berne, Peter Lang.
- Vergnaud G. (1990), *Les sciences cognitives en débat*, Paris, Éditions du CNRS.
- Vergnaud G. (1994), *Apprentissages et didactiques. Où en est-on ?*, Paris, Hachette.
- Vygotsky L. (1985), *Pensée et langage*, Paris, Éditions Sociales Messidor.
-

Plan de l'article

Le concept de schème

L'exemple du porcher

Les gestes du sportif

L'exemple des ingénieurs de conception

Un exemple d'analyse

L'explicitation et la théorisation