

Requalification des ouvriers spécialisés et didactique professionnelle

■ Introduction ■

Depuis environ 1975, beaucoup d'entreprises subissent une mutation rapide et brutale : l'introduction de nouvelles technologies dans la fabrication s'est beaucoup accélérée, avec comme conséquence une automatisation croissante. De nouvelles formes de gestion de la production, plus flexibles, amènent à réaménager l'organisation du travail : le taylorisme-fordisme, jusque-là dominant, est sinon dépassé, du moins fortement remis en question (*cf.* Oester, dans ce numéro). Le souci de la qualité des produits devient un enjeu majeur pour les entreprises. Cette mutation a les conséquences sociales que l'on sait. D'une part les entreprises recherchent et embauchent des gens de plus en plus qualifiés ; d'autre part deux catégories sociales font principalement les frais de cette mutation : les jeunes sortis du système scolaire sans qualification, qui trouvent de plus en plus difficilement un emploi ; les ouvriers spécialisés, travailleurs sans

qualification, qui sont les premières victimes des plans de restructuration des entreprises. Cette crise sociale, qui peut aboutir à des processus durables d'**exclusion**, a de multiples dimensions. Mais l'une d'elles intéresse au premier chef la formation professionnelle continue: il y a, semble-t-il, un divorce croissant entre la qualification ou la compétence requises par les nouveaux postes de travail et la compétence possédée par les travailleurs ou ceux qui recherchent ces emplois.

Mais la requalification des OS n'est qu'un cas particulier, un des plus cruciaux sans doute, d'un problème beaucoup plus général: celui de la **prise en compte de l'expérience professionnelle dans la formation des adultes**. Que l'expérience professionnelle soit un élément déterminant dans le choix d'une personne à un poste, voilà qui assurément n'est pas nouveau. Cela signifie qu'on reconnaît implicitement qu'un travailleur acquiert de la compétence par l'exercice même de son activité. Mais qu'acquiert-il exactement? Quelle relation peut-on établir entre expérience professionnelle et compétence? Plus précisément, quelles relations existe-t-il entre les compétences pratiques acquises par l'exercice de l'activité professionnelle et les connaissances générales, scientifiques et techniques, qui sont enseignées dans les dispositifs de formation? Comment mieux articuler ces deux domaines qui ont une fâcheuse tendance à demeurer étrangers l'un à l'autre?

C'est l'objectif que se donne la **didactique professionnelle**. C'est une démarche qui consiste à puiser dans le stock de **situations-problèmes** qu'on peut trouver dans les ateliers, les bureaux, et en général dans toutes les activités de travail, où des gens sont confrontés (quelquefois, pas toujours) à des problèmes, qui ne demandent pas seulement pour être résolus l'application d'une procédure bien connue, mais supposent une conduite « intelligente », au sens habituel qu'on donne à ce terme. Cela requiert des compétences, le plus souvent acquises par expérience sur le lieu même du travail. La didactique professionnelle, une fois ces compétences repérées, consiste à construire des formations à partir de ces situations-problèmes issues directement de l'activité professionnelle, en les transposant pour en faire des **situations didactiques**. Le but est donc le **développement de compétences générales à partir du traitement de situations professionnelles**. Il ne s'agit pas de développer la spécialisation technique des opérateurs, mais bien d'utiliser les situations de résolution de problèmes qu'ils rencontrent dans leur activité de travail pour leur permettre de développer ou de restructurer leurs compétences générales. La visée est très proche de celle du courant de l'« éducation cognitive » (cf. *Education permanente*, n° 85, « Apprendre à apprendre »), à cette différence près que la didactique professionnelle s'efforce de partir de situations fortement contextualisées, dans le cadre du travail, ce qui a l'avantage, comme le souligne Brousseau (1986), de « préserver le sens » des situations-problèmes qu'il faut traiter. Cela suppose, comme pour le courant de l'éducation cognitive, qu'on admette au niveau théorique la possibilité d'un réel développement cognitif chez les adultes, en sorte que

leur formation ne se réduise pas à l'adaptation à un poste de travail, par acquisition de connaissances et de savoir-faire étroitement spécialisés.

Dans cet article, je voudrais partir d'un exemple, tiré d'une recherche effectuée sur la conduite d'une presse à injecter fabriquant des bouchons plastiques, pour illustrer la démarche de la didactique professionnelle, qu'on peut résumer en trois temps :

1. Analyse de la situation de travail (tâche et conduite des opérateurs), pour arriver au repérage de la compétence retenue (ici, le diagnostic et la correction de défauts d'aspect sur les bouchons).
2. Mise en scène didactique de cette compétence, par construction d'une simulation.
3. Intégration de cette simulation dans un dispositif de formation, d'une part pour évaluer les acquis des opérateurs, d'autre part comme support de formation s'insérant dans un dispositif plus vaste. Il se trouve que ce dernier point (insertion du simulateur dans un dispositif de formation) n'a pas encore été réalisé à ce jour : la formation des opérateurs de presses à injecter, de la société qui a accueilli cette recherche, doit commencer en septembre 1992. Mais le projet est suffisamment avancé pour qu'on puisse le présenter dans ses grandes lignes.

La deuxième partie de cet article constituera une généralisation par rapport à l'exemple concret présenté en première partie. A partir des résultats obtenus dans l'analyse de la conduite d'une presse à injecter, et d'une réflexion plus vaste suscitée par cette recherche et deux autres réalisées antérieurement et portant sur le même type de public (conduite d'une ligne d'assemblage et réglage de tuners TV), je voudrais indiquer comment on peut penser, à mon avis, le développement cognitif **chez les adultes**, quelle pourrait en être l'allure, ceci en référence au modèle piagétien, mais aussi en contrepoint par rapport à lui.

■ Les représentations de conducteurs de presses à injecter

L'étude de la conduite d'une presse à injecter a été entreprise dans un double objectif: pratique, construire un dispositif de formation adapté; théorique, repérer quelles représentations un opérateur se fait de sa machine, indépendamment de toute formation formellement organisée. L'objectif théorique avait pour but d'éclairer l'objectif pratique et de le rendre plus facilement accessible. On s'est donc tout naturellement centré sur les « représentations » des opérateurs. Le terme de « représentation » est aujourd'hui utilisé par (presque) tout le monde, mais en des sens et dans des contextes conceptuels très différents. Je me contenterai ici d'une définition très générale, qui suffit à mon propos, et qui est empruntée à Netchine-Grynberg: les représentations constituent « des médiations variées que le (sujet) interpose entre lui-même et l'environnement, afin

d'accorder ses actions à leur objet » (1990, p. 29). L'application de cette notion au domaine de l'activité professionnelle amène à faire deux observations.

Tout d'abord, la représentation des opérateurs comporte une double face : elle a une face **fonctionnelle et spécifique** à la machine et au produit fabriqué, et même, comme l'a montré Ochanine (1981) par sa notion d'« image opérative », spécifique à l'activité exercée par le sujet : la représentation fonctionnelle d'une même machine n'est pas la même selon qu'on a à la conduire, à la mettre au point, ou à la construire. Mais la représentation a aussi une face **générale**, en ceci qu'elle inclut des principes généraux d'action, des concepts pratiques, qui permettent de comprendre la machine et de la conduire efficacement. C'est cette deuxième face de la représentation qui retiendra notre attention et nous laisserons entre parenthèses les éléments de la représentation spécifiques à la situation donnée.

Deuxième observation : une représentation se manifeste par des états de conscience (des images mentales), mais également par des compétences cognitives que le sujet peut ne pas savoir expliciter, mais dont il faut bien postuler l'existence pour rendre compte des régularités dans sa conduite, telles que peut les constater un observateur. Autrement dit, les représentations peuvent être explicites ou implicites, ou, pour être plus précis, le degré d'explicitation d'une représentation peut être variable : le sujet peut savoir expliciter uniquement les résultats attendus d'une opération ; il peut savoir expliciter les règles d'action qui lui permettent de prévoir le résultat ; il peut aussi savoir expliciter les principes explicatifs sur lesquels reposent les règles d'action à mettre en œuvre.

On peut donc penser qu'il existe **plusieurs niveaux hiérarchiques** dans la représentation. On peut en distinguer trois :

1. Au niveau le plus proche des observables, on trouve des **anticipations** fondées sur des **règles d'action**, qui marquent que le sujet est capable de calculer d'avance un résultat en fonction d'un état initial défini par des valeurs de paramètres.
2. A un niveau intermédiaire, on trouve des **stratégies**, qui permettent, quand il existe plusieurs classes de règles d'action correspondant à des régimes de fonctionnement différents de la machine, de choisir la classe de procédures adaptées à la situation.
3. A un niveau plus profond, on trouve des **invariants opératoires**, qui se présentent le plus souvent sous la forme de « **théorèmes-en-acte** » (Vergnaud, 1990), c'est-à-dire des principes implicites qui prennent la forme de propositions pour l'analyste, et qui fondent ou autorisent les stratégies mises en œuvre par le sujet. Ces théorèmes-en-acte peuvent être faux, ou valides simplement pour une classe très limitée de problèmes. Mais leur caractéristique essentielle est qu'ils fondent et justifient une certaine réussite de l'action. Ainsi, les principes de la physique aristotélicienne admis au XVI^e siècle (la nature a horreur du vide ; la chute d'un corps est fonction de son poids, lui-même fonction de la nature de ce corps) se sont

révélés faux, ce qui n'a rien enlevé à leur valeur pratique, pour prédire, avec une précision suffisante, des événements naturels.

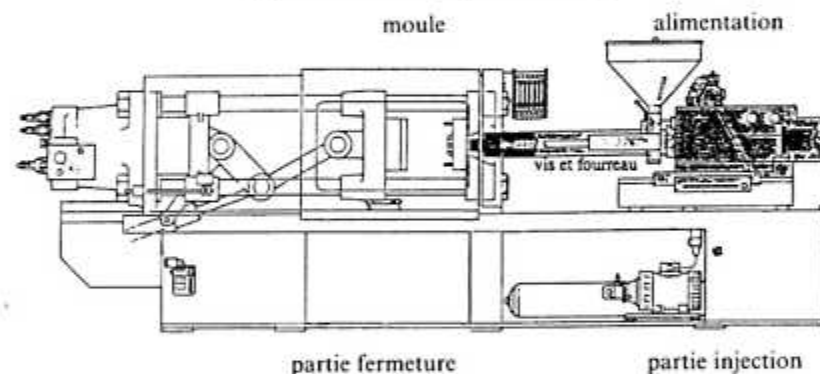
La conduite d'une presse à injecter

Situons maintenant en quelques mots le cadre de travail : la machine, sa conduite, et la transposition didactique qu'on en a faite.

■ La machine

Une presse à injecter (*figure 1*) fonctionne comme une pompe à bicyclette, dont on aurait remplacé le piston par une vis d'Archimède (pour homogénéiser la matière plastique) et l'air par de la matière plastique : des granules plastiques sont liquéfiés par chauffage. Ils sont alors injectés sous pression dans les empreintes d'un moule et en prennent la forme. Ils se solidifient en se refroidissant ; ils sont alors éjectés, au moment de l'ouverture du moule. Contrairement à ce qui se passe dans le gonflage d'une chambre à air avec une pompe, le produit injecté, étant liquide, ne se comprime pas sous la pression, mais transmet intégralement la pression

Figure 1. Presse à injecter Arburg

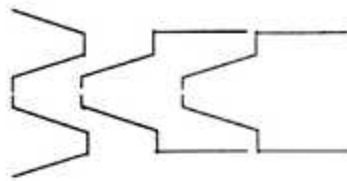


reçue. Aussi, quand les empreintes sont pleines, la pression exercée sur la vis étant normalement inférieure à la pression de verrou maintenant le moule fermé, l'ensemble se trouve en équilibre. Dans le cas contraire, le moule s'ouvre légèrement, provoquant des « bavures ».

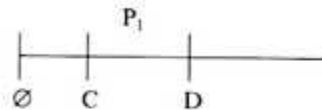
Grâce à une boucle de rétroaction naturelle, la machine peut fonctionner selon deux régimes :

— **régime stable** : la matière est injectée en une fois, sous une pression d'injection P1 (140 bars). La pression de maintien P2 (environ 60 bars) ne sert qu'à assurer un équilibre des pressions interne et externe, pour éviter l'apparition de certains défauts, détectables ultérieurement, pendant la phase de refroidissement du produit. Le point de commutation C (*figure 2*), qui correspond au passage de P1 à P2, est aussi le point extrême d'avancée de la vis (qui sert de piston à injecter).

Figure 2. Déplacement de la vis pendant l'injection

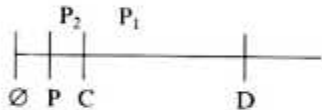


1. Régime stable



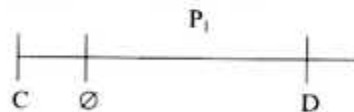
- D: point extrême de recul de la vis (pendant le dosage)
- C: point de commutation (passage de P1 à P2)
point extrême d'avancée de la vis
- Ø: point où la vis vient en butée contre le ponton
- CD: correspond au volume de matière injectée
- ØC: correspond au matelas

2. Régime compensé



- P: point extrême d'avancée de la vis, au-delà de C
- ØC: (matelas) est diminué par la deuxième injection
- PD: correspond au volume de matière injectée en première et deuxième injection

3. Non-commutation (physiquement impossible)



Le point de commutation a été placé par le régleur au-delà du point de butée: la machine s'arrête (le point de commutation n'est pas atteint).

— **régime compensé** (ou fonctionnement anormal): la matière est injectée en deux fois, sous P1 d'abord, sous P2 ensuite. Ceci permet de compenser un manque virtuel, dû à une injection en première pression insuffisante. Dans son mouvement d'avancée vers le moule, la vis dépasse le point de commutation (figure 2, deuxième cas): il y a « remplissage en second ». On peut l'observer (régllet gradué sur la machine). La cause principale d'un

remplissage en second est une P2 forte. Mais cela se produit aussi (de façon plus faible) quand la quantité de matière au dosage est trop faible.

■ La conduite

On a choisi d'analyser la fonction de diagnostic de défauts produits, particulièrement les défauts de manque/bavure. Ces défauts, qui constituent une échelle ordinaire qualitative, sont fonction de la quantité de matière retenue au moment du dosage (positionnement des cames de dosage D et de commutation C) et de la température du moule (environ 170°).

Mais en cas de régime compensé, la valeur de P2 devient déterminante: les 2 facteurs principaux qui expliquent l'apparition de manques ou de bavures sont alors Q matière et P2.

L'observation du poste fait apparaître que tous les conducteurs ont tendance à agir d'abord sur les températures.

Mais les bons conducteurs sont ceux qui maîtrisent l'action sur P2: en régime compensé, il faut d'abord supprimer le remplissage en second dû à P2 et ensuite rétablir la quantité de matière (par D, C ou T°).

■ La construction du simulateur

La mise en scène didactique a consisté à construire un simulateur de défauts produits. Le travail s'est fait par des entretiens avec un expert.

1. Définition de la situation de référence: type de fabrication et ses caractéristiques, bon état de la machine (pas de défauts produits provenant de pièces défectueuses), réglage correct de la pression de « verrou », ceci pour ne retenir de la situation que les problèmes de réglage en cours de fabrication. Il s'agit d'une simulation de « faible fidélité » (Leplat, 1989): on n'essaie pas de reproduire la situation professionnelle dans toutes ses dimensions, mais on isole la partie de la tâche qu'on veut étudier. « Il s'agit de simuler, non le réel, mais le problème » (Samarçay et Rogalski, dans ce numéro).

2. Identification des « sorties » (indices produits et process) en fonction des « entrées » (la valeur des paramètres de température, pression, déplacements, etc., sur lesquels l'opérateur peut agir).

Il est demandé aux opérateurs d'exécuter des actions, et non de formuler des jugements. Le sujet peut manipuler sur ordinateur les paramètres de réglage et savoir, à chaque étape de sa démarche, le résultat de son action: il lui suffit d'appeler les images vidéo qui correspondent à la configuration présente de son problème. L'interactivité est donc forte: le sujet peut savoir, à chaque étape, le résultat de son geste et modifier sa stratégie en conséquence. Ceci permet de faciliter « l'apprentissage par les résultats de l'action » (Leplat, 1989).

■ La tâche didactique

Douze problèmes mettent en scène des situations où le produit a un défaut de manque ou bavure. Les deux variables retenues pour le choix des problèmes sont: le régime de la machine (normal vs compensé); le

nombre de paramètres de réglage impliqués dans le défaut : un ou plusieurs (deux ou trois).

Douze conducteurs ont réalisé les exercices, dans les conditions suivantes :

- obligation de ne modifier qu'un paramètre à la fois et information sur les résultats par le simulateur après chaque opération ;
- après apprentissage du simulateur (correspondant aux deux premiers problèmes), les conducteurs ne voient pas les valeurs affichées des paramètres, ceci pour éviter le biais de recherche systématique de valeurs moyennes ;
- chaque conducteur disposait d'une heure trente, allait à son rythme, sans obligation de traiter les douze problèmes.

Les résultats des opérateurs

Sur 99 problèmes traités, on compte **81 réussites et 18 échecs**, dont 16 sont le fait de 3 conducteurs sur 12. Si l'on écarte les erreurs simples, presque toujours corrigées immédiatement, sur 33 erreurs complexes recensées (qui n'aboutissent pas toutes à des échecs), on compte **18 erreurs de diagnostic**, portant sur des problèmes de régime compensé, qui aboutissent 11 fois à des échecs. Ainsi les erreurs de diagnostic constituent plus de la moitié des erreurs complexes et rendent compte de près des deux tiers des échecs.

On peut maintenant chercher à identifier les représentations des opérateurs, en analysant leurs actions, à partir de la grille présentée plus haut : on distinguera le niveau des règles d'action, celui des stratégies et celui des théorèmes-en-acte.

■ Règles d'action utilisées

On observe l'utilisation de trois règles d'action, pour éliminer les manques ou bavures sur les produits :

- règles relatives au régime normal : par exemple, en cas de manque, il faut monter T° (la température du moule), et/ou augmenter la quantité de matière dosée (par les cames D ou C) ;
- règles relatives au régime compensé (quand il y a « remplissage en second ») : d'abord baisser P2, la pression de maintien, puis, au vu du résultat obtenu sur les produits, choisir dans la catégorie précédente la règle appropriée, en fonction du défaut observé après avoir baissé P2 ;
- règles amalgamant les deux premières. Par exemple, en cas de bavure, baisser P2 et T° , diminuer la quantité de matière dosée par D et/ou C. Cela revient à dire, de façon plus générale : en cas de défaut par manque ou bavure, il faut bouger toutes les variables jugées efficaces.

■ Les stratégies

Elles permettent de motiver le choix d'une règle d'action appropriée, parmi les trois types possibles. On peut en relever trois :

- Stratégie **analytique**. Elle opère en deux temps : d'abord établir le régime de fonctionnement de la machine. Ainsi, s'il y a remplissage en

second, on est en régime compensé : il faut appliquer une règle d'action correspondant à ce régime. Si la vis d'injection est stable au point de commutation, en toute rigueur de termes on ne peut pas conclure (il existe des situations d'équilibration de deux déséquilibres, qui n'ont pas été présentées, pour ne pas trop compliquer l'exposé). Mais il faut agir comme si on était en régime stable et appliquer la première catégorie de règles d'action (si on est en régime compensé masqué, on le découvrira en cours de résolution). Une fois le diagnostic de régime établi, il faut calculer, en fonction de l'amplitude du défaut observé, le nombre de variables en jeu (1, 2 ou 3), pour opérationnaliser la règle d'action.

- Stratégie **procédurale**. Il s'agit de l'application à tous les cas de la règle d'action du régime normal, sans diagnostic de régime préalable. Pour les problèmes de régime normal, cette stratégie est efficace, à condition de savoir calculer le nombre de variables impliquées. C'est en outre la stratégie la plus simple. Pour les problèmes de régime compensé, elle génère des erreurs et **aboutit à l'échec**, si elle n'est pas abandonnée en cours de problème.

- Stratégie **pragmatique**. Elle consiste à appliquer à tous les cas la règle d'amalgame, c'est-à-dire à faire l'économie d'un diagnostic de régime de la machine. Concrètement, elle consiste à agir d'abord sur T° et P2, jusqu'à trouver une situation qui soit ou bien la solution (ou un état proche de la solution), ou bien une impasse. Dans ce dernier cas, c'est pratiquement toujours à la suite de manipulations sur T° que se révèle l'impasse. Le sujet peut alors se servir de ses manipulations comme test d'hypothèse, et choisir l'autre voie.

La stratégie pragmatique génère des erreurs pour **tous** les problèmes, en régime stable ou compensé. Mais elle permet très souvent d'atteindre la solution. Elle est pratiquement aussi efficace que la stratégie analytique, même si c'est au prix de nombreuses erreurs de parcours.

■ Les théorèmes-en-acte

On peut en identifier deux, un relatif au régime stable, et qui permet de calculer le nombre de variables impliquées dans le problème ; l'autre relatif au régime compensé, et qui permet d'évaluer le manque virtuel existant après la première injection et avant la seconde.

- Le premier théorème-en-acte permet de traiter le fonctionnement de la machine en termes d'**entrées et de sorties**. Il permet en effet de prévoir le résultat de la composition de plusieurs transformations effectuées sur une même dimension. La dimension pertinente est ici la quantité de matière injectée, ou « bourrage » (dans le langage de l'atelier). Plusieurs paramètres d'action sont impliqués : la position de la came de dosage D, celle de la came de commutation C, et la température du moule T° . On peut le formuler ainsi : la transformation finale sur le produit (qui se traduit par un manque, une bavure ou une absence de défaut) est fonction de la quantité de matière (définie par la position des cames C et D) et de la température du moule. Ces deux dimensions (Q matière et tempéra-

ture) additionnent leurs effets pour donner le résultat d'ensemble. Autrement dit : on peut additionner le résultat de chaque transformation prise isolément (en leur affectant éventuellement un coefficient) pour prévoir le résultat d'ensemble.

— Le deuxième théorème-en-acte permet un traitement **systémique** du fonctionnement de la machine, par conséquent de tenir compte des corrections internes effectuées par la machine à l'aide de boucles de rétroaction négative. Il permet de décomposer une transformation complexe en transformations élémentaires. On peut le formuler ainsi : en régime compensé, le résultat final de la transformation d'ensemble peut être décomposé en deux transformations élémentaires, celle qui résulte de la première injection et qui d'ordinaire aboutit à un manque (virtuel), et celle qui résulte de la deuxième injection et qui vient compenser le manque virtuel. Autrement dit, quand il y a boucle de rétroaction, on peut distinguer une première transformation (avant le feed-back) et une deuxième transformation (le feed-back lui-même).

Ce théorème suppose un diagnostic préalable du régime de fonctionnement de la machine, puisqu'il faut avoir dans l'idée qu'une transformation globale connue par ses états initial et final peut être décomposée en transformations plus élémentaires, et qu'on peut en particulier se représenter un état intermédiaire virtuel du bourrage entre la première et la deuxième injection.

Ces deux théorèmes-en-acte, portant sur la possibilité de composer ou de décomposer des transformations sous certaines conditions, constituent des principes (implicites) qui fondent et autorisent les règles d'action et les stratégies.

Analyse des résultats des conducteurs

Les performances des conducteurs permettent de les répartir en trois groupes (tableau 1).

■ Le **premier groupe** fonctionne sur un **registre abstrait**. Il comprend six conducteurs sur douze.

Les conducteurs de ce groupe maîtrisent les deux théorèmes-en-acte mentionnés plus haut. Ils commencent par poser un diagnostic du régime de la machine, et adoptent une stratégie analytique qui leur permet de choisir de façon motivée le type de règles d'action à appliquer. On peut dire que, chez eux, le concept guide la perception et permet d'interroger le réel en prenant en compte les indices pertinents, sur le process et le produit. Ils savent résister à un effet contre-intuitif : l'ordre des actions à effectuer par le sujet et l'ordre des « opérations significatives » (Piaget) pour résoudre le problème sont clairement distincts : ces opérateurs sont capables de penser leurs propres interventions en les **insérant** dans l'ensemble des opérations effectuées par le système technique.

On peut distinguer trois sous-groupes à l'intérieur de ce groupe de six conducteurs :

- deux conducteurs (Jean et Jacques) traitent les problèmes sans faire de faute : non seulement ils savent poser un diagnostic symptomatique (Hoc, 1990), mais ils savent calculer par avance le nombre de variables impliquées dans le problème en fonction de l'amplitude du défaut ;
- deux conducteurs (Christophe et Charles) font quelquefois des erreurs dans la détermination du nombre de variables impliquées dans les problèmes ;
- deux conducteurs (Daniel et Henri) sont quelquefois victimes des effets contre-intuitifs, d'où des échecs pour certains problèmes.

■ Le **deuxième groupe** fonctionne sur un **registre intermédiaire** (phase d'équilibration). Il comporte trois conducteurs.

Ces conducteurs ne font pas de diagnostic préalable et remplacent celui-ci par l'utilisation d'une stratégie pragmatique, avec application d'une règle d'amalgame (modifier toutes les variables dont on sait par expérience qu'elles sont efficaces). Ils répondent aux indices produit et process en termes d'action immédiate, mais c'est une action **contestée** et, pour trois problèmes sur cinq (tableau 1), ils en prennent conscience. Dès lors, l'action, qui était jusqu'alors purement matérielle, devient **signifiante** : elle devient source d'information et permet au sujet de changer de stratégie. L'action change ainsi de fonctionnalité : elle ne consiste plus simplement à transformer le réel, mais elle sert à **l'interroger**.

Le point le plus notable est que ce groupe a un taux de réussite aussi bon que les meilleurs du premier groupe : tous les problèmes de régime compensé sont réussis. Par contre, on rencontre chez eux de nombreuses erreurs, toujours pour les problèmes de régime compensé, souvent pour les problèmes de régime normal, ce qui augmente fortement le nombre de manipulations effectuées. Ceux qui réussissent à changer de stratégie en cours de problème (deux conducteurs sur trois, pour trois problèmes sur cinq) manifestent une capacité certaine d'**apprentissage par l'action** : ils fonctionnent, pour les problèmes de régime compensé, dans leur « zone proximale de développement » (Vygotski, 1985). Cela veut dire que s'ils maîtrisent le théorème-en-acte sur la composition de transformations, ils ne maîtrisent pas celui sur l'analyse d'une transformation complexe en transformations élémentaires. Mais ce principe, non maîtrisé, est **repéré** en cours de résolution, ce qui provoque une prise de conscience de l'antagonisme pouvant exister entre perception et conceptualisation.

■ Le **troisième groupe** fonctionne sur un **registre concret**. Il comporte trois conducteurs.

Ces opérateurs ne font pas de diagnostic préalable. Ils adoptent une stratégie procédurale qui consiste à appliquer les règles d'action du régime normal dans tous les cas, y compris en cas de régime compensé. Ils réussissent normalement les problèmes de régime simple et échouent à **tous** les problèmes de régime compensé. Leur référence est leur fonctionnement perceptif et leurs actions : en présence d'un indice, ils réagissent immédiatement par une action. Mais ils ne savent pas utiliser

Tableau 1. Résultat des opérateurs

Stratégie		Analytique		Changement en cours de problème analytique		Pragmatique		Procédural		Non classable	
		Pb5	Pb6	Pb5	Pb6	Pb5	Pb6	Pb5	Pb6	Pb5	Pb6
1. Registre abstrait	1. Réussite sans erreur										
	Jean Jacques	+	+								
2. Registre intermédiaire	2. Réussite avec une erreur										
	Christophe Charles	+	+		+						
3. Registre concret	3. Réussite 1 sur 2 avec une erreur										
	Henri Daniel	+	+					-			-
4. Registre intermédiaire	4. Réussite avec deux erreurs										
	André François Etienne			+	+	+					
5. Registre concret	5. Echec total										
	Lucien Bernard Georges						-	-	-	-	
		9		4		2		6		2	

+ : réussite au problème
- : échec total ou partiel.

leurs actions pour interroger le réel (test d'hypothèse). Pour eux, et compte tenu du problème posé, l'action se réduit à sa fonction immédiate : transformer le réel, et ne comporte pas la dimension d'interrogation du réel (« action signifiante » au sens de Piaget). Ils sont victimes des

effets contre-intuitifs et n'arrivent pas à changer de stratégie en cours de problème.

Cela ne veut pas dire que leur représentation ne comporte pas de conceptualisation. En effet, ils réussissent la majorité des problèmes pour lesquels les relations chronologiques d'enchaînement des événements se confondent avec le déroulement logique des opérations attribuables à la machine. Par contre, quand il y a antagonisme entre l'enchaînement chronologique des événements et l'ordre logique des opérations, c'est-à-dire quand il y a un effet contre-intuitif (cas de problèmes de régime compensé), ils échouent. Il y a donc chez eux amalgame du perçu et du conçu, ce qui explique leur réussite pour les problèmes qu'on peut traiter en termes d'entrées et sorties (problèmes de régime stable).

Toutefois, il faudrait nuancer cette conclusion : parmi les trois conducteurs qui constituent ce groupe, il faudrait distinguer Lucien d'une part, qui est capable de résoudre certains problèmes de régime normal mettant en jeu plusieurs variables ; et d'autre part Georges et surtout Bernard, qui réussissent les problèmes de régime normal mettant en jeu une seule variable (que ce soit T°, D ou C), et échouent à ceux qui impliquent plusieurs variables. Le cas de Bernard est typique : il échoue systématiquement à tous les problèmes impliquant plus d'une variable. Les données empiriques sont trop minces pour pouvoir en tirer des conclusions assurées. Mais il semble bien que Bernard ne maîtrise pas le théorème-en-acte portant sur la composition de plusieurs transformations.

Ce fait, s'il était confirmé, ouvrirait des perspectives nouvelles : il semblerait que par rapport au premier théorème-en-acte mentionné (portant sur la composition de plusieurs transformations), on puisse répartir les opérateurs selon le même schéma, mais à un degré en dessous, que pour le théorème-en-acte portant sur l'analyse d'une transformation complexe : on aurait les sujets qui maîtrisent cet invariant, ceux qui ne le maîtrisent pas, et ceux qui sont en situation intermédiaire, c'est-à-dire pour lesquels cet invariant se situe dans leur zone proximale de développement. Si cette hypothèse était confirmée, elle permettrait d'envisager des formations adaptées aux conducteurs des plus bas niveaux de qualification. L'opération cognitive à acquérir serait alors à définir du côté de la distinction entre un objet, pris globalement, et les dimensions affectant cet objet, qui impliquent des invariants portant sur des propriétés et leurs relations.

Ainsi, les douze conducteurs de presses à injecter obtiennent des résultats très différents dans la résolution de la série de problèmes professionnels qu'on leur a posés. L'analyse de leurs résultats fait apparaître que le principal facteur qui permet d'expliquer leurs différences de réussite est la maîtrise de deux théorèmes-en-acte, permettant de composer ou de décomposer des transformations sous certaines conditions. Cela signifie que leur représentation de la situation ne se réduit pas aux données spécifiques de la machine et de la tâche. Par

conséquent, pour acquérir la compétence à traiter toute la série des problèmes de ce type, il faut qu'ils acquièrent la maîtrise des théorèmes-en-acte qui sont nécessaires pour réussir. Autrement dit, il ne s'agit plus de perfectionnement technique mais de développement cognitif, même si, dans la pratique, les opérateurs peuvent user de recettes pragmatiques pour se tirer d'affaire.

■ Développement cognitif et formation d'adultes ■

La thèse que je voudrais développer dans la deuxième partie de cet article est que la formation d'adultes a besoin de s'appuyer sur une théorie du développement cognitif pour donner sens à son action. Depuis une vingtaine d'années, la formation professionnelle continue s'est trouvée principalement partagée entre deux orientations complémentaires : chercher à mieux adapter les opérateurs à leur poste de travail et donc apporter des savoirs et des savoir-faire très spécifiques ; chercher à élaborer de nouveaux dispositifs de formation et à mieux gérer les dispositifs existants, c'est-à-dire principalement les intégrer à des politiques de gestion du personnel et surtout à des stratégies de développement (d'une entreprise ou d'une collectivité). Ces deux orientations étaient et demeurent nécessaires, mais elles ne peuvent trouver leur sens que si l'on pose également le problème des **contenus** de la formation pour adultes. Ainsi, lorsque survient une nouvelle question sociale, comme l'inadaptation de la qualification des travailleurs de bas niveau de qualification à l'évolution des tâches prescrites, le problème du rapport entre apprentissage et développement cognitif fait retour : on s'accorde à penser que ce que doivent acquérir ces travailleurs, ce sont moins des capacités spécialisées, précises, techniques, que des compétences parmi les plus générales, ce qui se traduit par des expressions comme développer leur « esprit logique », accroître leur « capacité d'abstraction », etc. Ils doivent, en particulier, être capables de se représenter un processus qui se déroule sans leur intervention directe, et diagnostiquer l'état de fonctionnement du système technique qu'ils conduisent, en sachant interpréter un nombre souvent important d'indices et de signaux.

Or, comme le soulignent Pailhous et Vergnaud (1989), la formation des adultes « de bas niveau de qualification » constitue « un point aveugle entre les théories du traitement de l'information et les théories ontogénétiques » (p. 7).

— La théorie psychogénétique de Piaget conçoit l'apprentissage comme intégré dans un développement cognitif à long terme. Son champ d'application est principalement la psychologie de l'enfant ; elle s'est peu intéressée aux adultes et aux problèmes spécifiques qu'ils ont à résoudre. D'ailleurs, pour Piaget, il semble que le développement se termine avec l'adolescence.

— La théorie du traitement de l'information, tout en n'excluant pas a priori l'hypothèse d'un développement cognitif, choisit une approche

pragmatique, fonctionnelle, locale. Elle s'applique autant à l'adulte qu'à l'enfant, mais reste très discrète sur la coordination des apprentissages entre eux.

— Les praticiens de la formation d'adultes rêvent, peut-être de façon utopique, de conserver de Piaget l'aspect intégrateur et développemental, et de garder du cognitivisme sa théorie de l'apprentissage fonctionnel par l'action, autrement dit : chercher à combiner développement cognitif et apprentissage fonctionnel. C'est dans ce cadre qu'on pourrait situer la didactique professionnelle : comment intégrer des analyses fonctionnelles locales d'apprentissage dans une perspective de développement cognitif chez l'adulte ? Comment associer et coordonner une approche en termes de développement et une approche en termes d'apprentissage ?

Limites du modèle piagétien de développement

Comme le souligne Bideaud (1988), « l'hypothèse d'une structure d'ensemble caractérisant chacun des paliers (de la conduite), ou stades, est exigeante. Elle requiert à la fois la hiérarchisation des conduites qui relèvent d'une structure différente et le synchronisme de celles qui relèvent d'une même structure » (p. 387). Autrement dit, des tâches réussies à un même stade doivent être considérées comme isomorphes. Piaget, qui s'intéressait peu au contenu spécifique des tâches, a recours à la notion de décalage pour justifier les écarts constatés dans la réussite des enfants pour des tâches considérées comme isomorphes.

Après lui, les chercheurs ont porté une attention beaucoup plus précise à la nature des tâches à exécuter, et ils ont pu remarquer que « des tâches réputées isomorphes soit ne l'étaient en aucune manière, compte tenu des informations dont le sujet pouvait disposer et des opérations de pensée qu'il lui fallait faire, soit étaient bien isomorphes d'un point de vue très général mais, s'appliquant à des contenus différents et à des valeurs des variables de situation dissemblables, ne pouvaient guère être l'occasion de conduites identiques » (Vergnaud, 1989). Des résultats se sont accumulés qui faisaient des décalages non l'exception, mais la règle. Par exemple, dans une tâche de comparaison de deux volumes, selon que le concept de volume peut être traité de façon unidimensionnelle (par exemple mesurer le contenu d'une bouteille à l'aide d'un verre), ou doit être analysé comme le résultat de la composition de trois longueurs (calcul d'un volume à partir de ses trois dimensions), la réussite des sujets a lieu à des âges très éloignés, parce que les deux tâches ne sont pas isomorphes (Vergnaud, 1987). Autre exemple, Bideaud (1988) montre que les réponses correctes à une épreuve typiquement piagétienne de quantification de l'inclusion, qui apparaissent chez les enfants à partir de dix-onze ans, constituent « la borne inférieure d'une étape de résolution non pas logique, mais empirique, de l'inclusion, basée sur la comparaison de collections disjointes » (p. 380). Il faut attendre plusieurs années pour que les sujets distinguent la notion empirique de **collection** (par exemple, un bouquet de fleurs composé de roses et de marguerites) du concept de

classe et réussissent à des épreuves reposant sur la distinction-opposition de ces deux notions. C'est la raison pour laquelle un nombre très important de chercheurs tend aujourd'hui à abandonner l'hypothèse piagétienne des stades strictement ordonnés.

L'importance de plus en plus grande accordée aux contenus, c'est-à-dire à l'analyse précise des tâches abordées, a ainsi conduit les chercheurs à considérer les conduites des sujets en situation comme des **résolutions de problèmes**, et à donner une importance de plus en plus grande à l'analyse fonctionnelle. D'où il devient difficile de concevoir le développement cognitif comme un processus essentiellement endogène. L'importance de la situation-problème, surtout quand elle est complexe comme à l'école ou au travail, les échanges verbaux entre pairs ou avec un tuteur (enseignant, formateur ou expert) sont considérés comme des éléments importants du développement. A une représentation du développement ordonné et cumulatif fait place une représentation beaucoup plus souple, sinon incertaine. Car une approche plus fonctionnelle ne doit pas faire abandonner la cohérence propre à l'approche développementale. Comme le dit Vergnaud (1989), « si le modèle des stades totalement ordonnés, caractérisés par des structures logiques très générales, est aujourd'hui caduc, ce n'est pas une raison pour renoncer à décrire et analyser la structure d'ordre partiel des compétences et des conceptions des enfants, et à repérer les filiations et les ruptures ».

Le problème, pour les psychologues qui font du développement cognitif une hypothèse centrale, est désormais de penser celui-ci sans le recours à une structure d'ensemble. Une remarque de Bideaud (1988) est éclairante : « On peut considérer avec Oléron (1972) [...] que l'intelligence est avant tout une machine à fabriquer des modèles, et que ces modèles ne sont pas autre chose que les systèmes de **représentation** qui se substituent à la réalité perçue. C'est finalement l'étude de l'évolution de ces modèles au cours du développement, pour un même domaine notionnel, qui est la voie à suivre » (p. 390).

Cet apport de la recherche ne peut qu'intéresser au plus haut point les praticiens de la formation professionnelle qui cherchent à penser leurs propres pratiques. En effet, autant un modèle nécessaire, endogène, cumulatif du développement a peu de chances de pouvoir s'appliquer aux adultes, autant un modèle impliquant un ordre partiel, faisant place à une certaine contingence et postulant l'importance du rôle de l'environnement rejoint davantage l'expérience acquise et réfléchie par les praticiens de la formation d'adultes.

Quelques données d'expérience de développement cognitif chez des adultes en FPC

— Tout d'abord le développement cognitif de certains adultes est un fait qu'on peut constater, ou plus exactement inférer des comportements des sujets, quand la formation peut être suivie longitudinalement sur une

assez longue période. Dans ce cas, le résultat des apprentissages n'est pas réductible à une accumulation de connaissances et de savoir-faire, ou à l'acquisition de compétences très spécifiques (spécialisation professionnelle), mais porte également sur des modes de pensée, de raisonnement, d'analyse.

— Ce développement cognitif est très marqué par la contingence : tous les adultes ne parviennent pas à modifier leurs modes de pensée. Et quand cette modification se produit, elle conserve toujours un caractère d'**événement**, au sens où le changement produit ne paraît pas déterminé par des conditions identifiables qui, si on pouvait les reproduire, aboutiraient au même effet.

— Autre caractère : ce développement cognitif s'opère généralement sous forme de **crises**, vécues psychologiquement comme difficiles, parce que pendant cette période de crise le sujet a le sentiment, non pas de progresser, mais de régresser. Tout se passe comme si l'adulte devait payer au prix fort la possibilité de poursuivre ou de redémarrer son développement. Il faut qu'il accepte d'abandonner ses manières de penser anciennes, devenues « concrètes » et « évidentes » à force de familiarité, ou du moins qu'il accepte une déstructuration de ses représentations, sans avoir présentement l'assurance de pouvoir les restructurer de façon plus pertinente. Ce n'est que rétrospectivement, quand le changement est accompli, que la crise est repérée par le sujet comme un moment du développement, et sans doute un moment indispensable.

— Dernier caractère : le rôle essentiel joué conjointement par l'environnement et les représentations internes du sujet. L'environnement, c'est à la fois l'environnement humain (les pairs, les formateurs), social (les rapports sociaux) et matériel (l'évolution technologique, dans le cadre du travail). Ils génèrent des situations de résolution de problèmes (le sujet ne dispose pas d'une procédure assurée pour atteindre le but qu'il se propose ou qu'on lui assigne). La nécessité de changer de métier, de s'adapter à une nouvelle organisation du travail, à un nouveau mode de fabrication, ou encore la décision d'entreprendre une reconversion professionnelle par une formation de longue durée sont des situations de ce type.

Mais peut-être l'essentiel se joue-t-il au niveau des représentations internes de l'adulte. Ce sont elles, au fond, qui sont affectées par le changement. C'est d'elles que vient la résistance, ce qui implique qu'elles ne consistent pas seulement en images ou connaissances superficielles, mais qu'elles font partie d'une structure plus profonde de la cognition, puisqu'elles durent et résistent au changement.

Ainsi on peut dire que le développement cognitif chez l'adulte serait bien davantage historique et dramatique que nécessaire et cumulatif (logique) : la mise en question d'une structure d'ensemble du développement, orientée par la logique, ouvre la voie à une approche historique, où le rôle de l'environnement et des représentations du sujet devient primordial. De plus, la **résistance** des représentations à la pression de

l'environnement pointe vers une **consistance** de ces mêmes représentations. Si celles-ci n'étaient pas structurées, organisées, articulées entre elles, elles n'offriraient sans doute aucune résistance à la pression adaptative des tâches à accomplir.

Il me semble qu'on peut tirer deux conséquences théoriques de ce développement. Premièrement, on n'est finalement pas si éloigné de certains thèmes fondamentaux de Piaget.

1. La priorité des structures sur les procédures : « La différence essentielle permettant de les distinguer est que, si toutes deux comportent des transformations, les procédures les effectuent ou les utilisent en vue d'atteindre des buts particuliers et variables, et constituent ainsi fondamentalement des processus temporels, tandis que les structures consistent à relier les transformations pour en dégager les connexions en un système d'ensemble intemporel, sans autre but que celui, très général et commun à toutes, de comprendre la nature de la cognition » (Inhelder, Piaget, 1979).

2. L'importance des invariants opératoires : si on applique la distinction opérée par Piaget entre structure et procédure à la représentation elle-même, on peut penser que toute représentation a une face fonctionnelle — elle permet de dériver des règles d'action —, mais aussi une face structurale — elle coordonne des éléments, des relations ou des transformations d'une façon organisée et stable. Et c'est la présence d'invariants opératoires dans la représentation qui permet de rendre compte du caractère de nécessité et d'évidence qui les accompagne.

3. L'importance des stratégies d'équilibration : les différentes stratégies d'équilibration décrites par Piaget (1957, p. 49) constituent un outil puissant pour analyser l'évolution des représentations d'un sujet en situation de résolution de problème : centration exclusive sur un aspect du problème ; centration sur un autre aspect, mais sans coordination avec le précédent ; oscillation temporelle entre les deux centrations ; prise en compte simultanée et coordonnée des deux aspects, et compréhension de la transformation.

En deuxième lieu, il me semble que la notion d'**obstacle épistémologique**, telle que l'a développée Bachelard (1938), permet d'éclairer beaucoup de traits caractéristiques du développement cognitif, en particulier chez un adulte.

— Un obstacle épistémologique n'est pas lié à la difficulté de la tâche, mais à la représentation du sujet. Par exemple, dans la conduite d'une presse à injecter, l'utilisation d'une stratégie pragmatique (manipuler tous les paramètres dont on sait qu'ils peuvent être efficaces) repose sur un obstacle épistémologique qui consiste à vouloir traiter toutes les transformations complexes en termes d'entrées et de sorties. Cette démarche n'est pas inefficace, comme on l'a vu, à condition de négliger le nombre d'erreurs en cours de résolution. Mais elle empêche de comprendre et le fonctionnement de la machine et le sens de l'intervention de l'opérateur.

— Ce qui caractérise un obstacle épistémologique, c'est sa **résistance**

(signe d'une représentation structurée) : d'où sa **persistance** (on sait bien, mais...) et sa **rémanence** (il suffit d'augmenter la difficulté de la tâche pour qu'il réapparaisse). C'est pourquoi, comme le dit Vergnaud (1989), contrairement à l'expression courante, « on ne saute pas un obstacle épistémologique » : pour le dépasser, il faut l'analyser. Et encore le fait de le dépasser n'est-il jamais acquis définitivement. Ceci a de grandes conséquences pour la formation.

— Partant de l'idée qu'un obstacle épistémologique indique une représentation très structurée, on peut faire l'hypothèse que les différents obstacles épistémologiques renvoient à des **couches d'organisation de la pensée implicite**, dont on peut avoir une idée en suivant l'histoire épistémologique d'un concept, qui nous fournit l'ensemble des théorèmes-en-acte applicables, parce que signifiants, pour une certaine étape d'élaboration du concept.

On peut s'appuyer pour cela sur un autre texte de Bachelard, qui développe la notion de **profil épistémologique** (Bachelard, 1940). Dans ce texte, l'auteur cherche à appliquer les résultats de l'épistémologie historique à la représentation **psychologique** d'un concept scientifique. Il propose d'établir, pour un concept scientifique (exemple, la masse) et pour un sujet (lui-même), un **histogramme**, où on trouve en abscisse les différentes conceptions épistémologiques relatives au concept telles qu'il les tire de l'histoire des sciences, et en ordonnée « une valeur qui — si elle pouvait être exacte — mesurerait la fréquence d'usage effectif de la notion, l'importance relative des convictions [du sujet] » (p. 43). D'après Bachelard, les trois principales philosophies en acte sont les suivantes :

— le **réalisme naïf**, où la notion est encore indissociable du schème où elle trouve son origine, et de l'objet qui en est le support. D'où la confusion chez le sujet de l'objet et des dimensions qui affectent cet objet. Conséquence : on ne saura pas composer plusieurs transformations portant sur un même objet et impliquant des dimensions différentes (températures, pressions, déplacements) ;

— l'**empirisme clair et positiviste**, qui est une conduite instrumentale, mais sans que le sujet possède la théorie de l'instrument. Cette approche est extrêmement prégnante dans le champ professionnel et technique : on repère des régularités qui guident l'action. Ces régularités se présentent comme des relations observées entre des « entrées » et des « sorties », sans qu'on cherche à savoir ce qui se passe entre les deux ;

— le **rationalisme classique** (newtonien), qui repose sur une « solidarité notionnelle » (Bachelard, 1940) : il pense les dimensions du réel comme des « atomes notionnels » définis par leurs relations et leurs lois de composition, c'est-à-dire sous forme de champs conceptuels, ce qui permet de composer plusieurs dimensions qui, d'un point de vue réaliste, sont diverses et incommensurables.

On peut donc penser qu'il y aura obstacle épistémologique quand il y a une **situation d'amalgame dans une même représentation entre deux strates différentes**, en sorte que la strate la plus archaïque vient interférer

avec la plus récente et perturber cette strate plus élaborée. Dans la conduite des systèmes techniques, on pourra parler d'obstacles épistémologiques si on constate la persistance de représentations qui relèvent du réalisme naïf, mais surtout de l'empirisme clair et instrumental, dans un système de représentations qui relève du rationalisme fondé sur une solidarité notionnelle (impliquant des coordinations de points de vue et des compositions ou décompositions de transformations ou de processus).

Conclusion

Je voudrais présenter, pour finir, les conséquences tirées de l'analyse précédente pour élaborer un produit de formation à destination des opérateurs de la société qui a accueilli cette recherche. Rappelons que ce produit existe pour l'instant à l'état de projet, et qu'il sera mis en œuvre à partir du second semestre 1992.

1. Nécessité d'une évaluation précise des compétences acquises et maîtrisées par les opérateurs avant la formation. Autrement dit, pour reprendre les termes de Vygotski (1985), il importe d'identifier, pour chaque conducteur, sa « zone proximale de développement » par rapport à la série des problèmes posés, c'est-à-dire pour quel type de problèmes le sujet finit par arriver à la réussite, mais avec difficulté et en faisant des erreurs, ou encore pour quels problèmes une aide est vraiment efficace. Par exemple, pour les opérateurs « pragmatistes » susceptibles de changer de stratégie en cours de problème, il est clair qu'une formation doit leur permettre d'accéder à la maîtrise du diagnostic symptomatique et de l'invariant permettant d'analyser une transformation complexe en transformations élémentaires. On peut penser que, pour eux, une formation **courte et bien ajustée** peut avoir une grande efficacité. C'est important, notamment quand on s'adresse à des PME-PMI qui n'ont généralement pas les moyens de dégager beaucoup de temps pour la formation des opérateurs.

2. Nécessité d'alterner les résolutions de problèmes sur machine réelle et sur simulateur, en posant le même problème dans les deux cas. La situation contextualisée « préserve le sens » (Brousseau, 1986); la situation de simulation établit une rupture avec les réponses simplement agies. On peut espérer que cette alternance des deux situations pour un même problème développera les réponses motivées et facilitera, à terme, les transferts.

3. En présence d'obstacles épistémologiques, nécessité d'aider l'opérateur à **analyser** la démarche qu'il a utilisée dans un problème donné. Le fait de faire opérer les sujets n'est sans doute pas suffisant pour obtenir un réel changement des représentations. On se propose donc de compléter la partie résolution de problèmes par une analyse des protocoles des opérateurs par les opérateurs eux-mêmes, aidés en cela par une grille

d'analyse et un moniteur de l'entreprise formé à cet effet. L'objectif est double: permettre aux opérateurs d'identifier les stratégies qu'ils ont mises en œuvre; et expliciter en quoi certaines stratégies aboutissent nécessairement à des échecs, ou au moins à des erreurs. On peut supposer que c'est à ce niveau que se joue le difficile problème du transfert (application-adaptation d'une compétence d'une situation connue à une situation nouvelle).

4. Dans la pratique, le produit de formation comprend deux dimensions: — une gamme de situations problèmes, de la plus simple à la plus complexe. La situation la plus simple est celle où n'est impliqué qu'un paramètre de réglage, dans un régime sans compensation interne à la machine. La situation la plus complexe se rapproche de la conduite de processus dynamiques. On n'a présenté ici que les situations-problèmes relatives à un type de machine et un type de fabrication. Pour la formation, on se propose d'étendre la simulation à deux types de presses et trois types de fabrications; — pour chaque type de problème, alternance entre le travail sur machine réelle, sur simulateur, et l'analyse par les sujets de leurs propres protocoles.

Le produit de formation s'intègre lui-même dans un dispositif plus vaste, qu'il n'est pas possible de présenter ici, dont on espère bien qu'il en sortira des **opérateurs qualifiés** dans l'injection plastique.

Bibliographie

BACHELARD, G. 1938. *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.

BACHELARD, G. 1940. *La philosophie du non*. Paris, PUF.

BIDEAUD, J. 1988. *Logique et bricolage chez l'enfant*. Lille, PUL.

BROUSSEAU, G. 1986. « Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques », *Recherches en didactique des mathématiques*, 7, 2, pp. 33-115.

CHEVALLARD, Y. 1985. *La transposition didactique*. Grenoble, La Pensée sauvage.

HOC, M. 1990. « Les activités de diagnostic », in: Richard; Bonnet; Ghiglione (dir. publ.) *Traité de psychologie cognitive 2*. Paris, Dunod, pp. 158-165.

INHOLDER, B.; PIAGET, J. 1979. « Procédures et structures », *Archives de psychologie*, XLVII, 181, pp. 165-176.

LEPLAT, J. 1989. « Simulation and simulators in training: some comments », in: Bainbridge L.; Quintanilla S. (dir. publ.) *Developing skills with information technology*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester.

MALGLAIVE, G. 1990. *Enseigner à des adultes*. Paris, PUF.

NETCHINE-GRYNBERG, G. (dir. publ.) 1990. *Développement et fonctionnement cognitif chez l'enfant*. Paris, PUF.

OCHANINE, D. 1981. « L'image opérative », actes de séminaire et recueil d'articles, Université Paris I, ronéotypé.

PASTRE, P. 1992. « Essai pour introduire le concept de didactique professionnelle. Rôle de la conceptualisation dans la conduite de machines automatisées », thèse de doctorat, Université de Paris V.

- PAILHOUS, J. ; VERGNAUD, G. 1989. *Adultes en reconversion*, Paris, Documentation française.
- PIAGET, J. 1957. « Logique et équilibre dans les comportements du sujet », in : *Logique et équilibre*, EEG 2, Paris, PUF.
- PIAGET, J. 1974. *Réussir et comprendre*, Paris, PUF.
- SOREL, M. (dir. publ.) 1987. « Apprendre peut-il s'apprendre ? », *Education permanente*, n° 88/89.
- VERGNAUD, G. 1987. « Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant », in : Piaget, J. (dir. publ.) *Psychologie*, Paris, Gallimard, Pleiade, pp. 821-844.
- VERGNAUD, G. 1989. « Questions vives de la psychologie du développement »,

Bulletin de psychologie, 42, 390, pp. 450-457.

VERGNAUD, G. 1989. « Difficultés conceptuelles, erreurs didactiques et vrais obstacles épistémologiques dans l'apprentissage des mathématiques », in : Bednarz, N. ; Garnier, C. (dir. publ.) *Construction des savoirs*, Ottawa, Cirade, pp. 33-40.

VERGNAUD, G. 1990. « Développement et fonctionnement cognitifs dans le champ conceptuel des structures additives », in : Netchine - Grynberg G. (dir. publ.) *Développement et fonctionnement cognitif chez l'enfant*, PUF, pp. 261-277.

VYGOTSKI, L. S. 1985. *Pensée et langage*, Paris, Messidor.