

## Formation aux activités de gestion d'environnements dynamiques : concepts et méthodes

### ■ Introduction ■

**L**e phénomène didactique auquel est consacré cet article porte sur le processus de conception des contenus de formation visant l'amélioration de l'efficacité des professionnels dans la gestion d'environnements dynamiques. Il s'agit de domaines professionnels comme la conduite de processus industriels, la lutte contre les feux de forêt, le pilotage d'avion ou de navire, ou les activités de régulation de trafic (urbain, aérien. etc.), où l'environnement change indépendamment des actions propres du sujet. Le terme « environnement dynamique » désigne ici les processus naturels ou artificiels sur lesquels agit le sujet : il est à distinguer du milieu ou contexte dans lequel se déroulent les interactions sujet-situation. En dépit de leur spécificité, ces situations peuvent s'analyser dans un cadre unique de concepts et méthodes.

Janine Rogalski, directeur de recherche au CNRS, est responsable de l'équipe « Psychologie cognitive ergonomique » de l'URA 1 297.

Renan Samurçay, chargé de recherche au CNRS, est coresponsable du thème « Didactique professionnelle » du groupement de recherche « Didactique et acquisition des connaissances scientifiques » du CNRS.

Dans ces situations, les formés sont déjà professionnels, leur niveau de qualification se situe entre bac, bac + 4 (ou plus); les tâches et activités auxquelles ils doivent être formés sont « définies » ou du moins analysables. Quelle est la pertinence d'un tel article pour ce numéro spécial consacré à la formation des adultes de faible niveau de qualification et de formation? Il nous semble qu'un certain nombre de questions se posent pour toute situation de formation indépendamment du niveau de qualification initial des apprenants: les outils conceptuels et méthodologiques qui vont être développés dans cet article peuvent être, nous l'espérons, d'une portée plus générale que les cas spécifiques étudiés.

Comment identifier et analyser les compétences exigées par des tâches professionnelles et les besoins en formation? Comment traduire ces compétences en termes de contenus à enseigner? Quelles situations de formation construire pour en faire des situations-problèmes? Comment évaluer l'efficacité de la formation? Des problèmes liés à l'étude du système de formation et des relations formés-formateurs ont été développés dans Rogalski et Samurçay (1991 a).

Dans le cadre des études menées, concevoir une formation revient à identifier deux éléments essentiels: le corps des **savoirs de référence** et les **conditions de leur enseignabilité**. Le savoir de référence renvoie aux connaissances et stratégies manifestées dans les pratiques efficaces d'un domaine professionnel; il ne se réduit nullement au texte des savoirs techniques ou disciplinaires impliqués nécessairement dans la réalisation des tâches du domaine.

Dans ce qui suit, nous présenterons les points suivants: 1. les caractéristiques des situations de gestion d'environnement dynamique; 2. le cadre conceptuel qui nous sert d'outil pour identifier et analyser les savoirs de référence; 3. la construction des savoirs de référence; et 4. enfin, nous discuterons les fonctionnalités que doivent remplir les situations de formation pour permettre les acquisitions visées.

### ■ Les caractéristiques des situations de gestion d'environnement dynamique ■

Les deux situations particulières sur lesquelles ont porté nos études sont la conduite de haut fourneau (HF) et la lutte contre les feux de forêt (FF).

Le haut fourneau est un outil de production industrielle semi-automatisé ayant deux grandes fonctions: réduire les oxydes ferreux en fer et combiner ce fer avec le carbone et d'autres éléments pour former la fonte. Des couches alternées de coke et de minerais sont automatiquement chargées par le haut; par le bas on souffle de l'air chaud (à 1 200° C), et la fonte est récupérée dans le creuset (à 1 500° C). Le gaz réducteur et une partie de la chaleur nécessaire à la réduction sont obtenus par la combustion du coke; l'autre partie de la chaleur est obtenue par l'injection de charbon et d'oxygène par le bas. Le fonctionnement du procédé n'est pas entièrement modélisé; les outils d'aide à la conduite

existants reposent sur des modèles mathématiques partiels et valides en cas de fonctionnement normal. Le but ultime de l'opérateur<sup>1</sup> de la salle de contrôle est de contrôler le processus de fabrication de manière à produire de la fonte, à la qualité et à la quantité voulues, en respectant des critères de coût de production minimum et de sécurité maximum. Cela revient à maintenir les grands équilibres thermique, chimique et aérodynamique du système en diminuant par des actions adéquates les écarts au fonctionnement optimal.

Les feux de forêts méditerranéens sont des processus naturels qui évoluent dans le temps et l'espace. Les modèles mathématiques calculables simples supposent des conditions d'homogénéité du relief et de la végétation qu'on ne rencontre qu'exceptionnellement sur le terrain. Sinon, ils supposent, pour être appliqués, des connaissances sur les valeurs de multiples paramètres d'hygrométrie et de combustibilité de la végétation. Les tests de validation de modèles empiriques correspondent à des conditions de végétation et/ou de vent autres que celles des feux de forêts méditerranéens qui posent problème. Les modèles de simulation exigent l'entrée d'une multiplicité de valeurs de paramètres actuellement incompatible avec un traitement en temps réel (il n'y a pas, par exemple, de prise d'information automatique sur les valeurs présentes des paramètres « végétation »). Le but ultime de l'activité de gestion de crise est de définir et de mettre en œuvre un dispositif d'intervention (ensemble de manœuvres) permettant d'atteindre un « état-cible » stable et qui limite au maximum les conséquences négatives possibles d'un événement souvent irréversible. Le dispositif doit spécifier un ensemble d'actions coordonnées (**quoi faire**) répondant à des sous-buts (**pourquoi**), définies dans l'espace et le temps (**où et quand**), utilisant un ensemble de ressources matérielles et humaines (avec **quoi** et avec **qui**).

Comme pour tous les environnements dynamiques, l'activité de contrôle exige des opérateurs la coordination de deux modèles: celui du fonctionnement du processus et celui des effets de leurs actions propres. Dans les deux cas, l'ensemble de la tâche de contrôle peut être décrite comme une boucle: prise d'information, diagnostic/pronostic, planification de l'action et éventuellement les moyens de l'action, décision, exécution et contrôle.

Une typologie établie par Hoc (1989) pour le contrôle de processus industriels et adaptée pour la gestion de sinistre par Baron *et al.* (1988) permet de comparer les deux situations étudiées (HF, et essentiellement feux de forêts). Elles présentent des différences évidentes et des caractéristiques communes:

— la conduite de HF porte sur un processus artificiel fortement automatisé, où l'activité des opérateurs est médiatisée par des systèmes contrôle-commande; la gestion de sinistre porte sur un environnement dynamique « ouvert »: il s'agit de processus naturels sans prise d'information, ni régulation, ni commande automatiques, où l'activité est médiatisée par des acteurs humains; le nombre de paramètres est beaucoup plus important pour le haut fourneau, alors que le nombre

d'acteurs est beaucoup plus important dans la gestion de crise (plusieurs centaines sur un feu important);

— dans les deux cas, les processus sont continus (les variables sont fonction du temps), à longs délais de réponse (les effets des actions ne sont pas toujours immédiats), exigeant des activités d'inférence, d'anticipation et de planification;

— dans les deux cas, les variables à contrôler et celles qui renseignent sur l'évolution de la situation ne sont pas directes; elles exigent le traitement des chaînes causales relativement longues (par exemple, dans la conduite de HF, on ne peut pas améliorer la qualité des réductions en agissant directement sur la variable qui permet de l'évaluer, il faut agir sur un autre paramètre qui, lui-même, a un effet direct ou indirect sur le phénomène).

Une activité cognitive très importante pour le contrôle de ce type de situation est l'anticipation. A partir des données actuelles (valeurs d'un certain nombre de paramètres connus à un instant donné) et de connaissances sur le processus dynamique en cours, il s'agit, pour les opérateurs impliqués dans le contrôle, de faire un pronostic sur l'évolution du phénomène si aucune modification n'est décidée, et d'anticiper les effets d'actions sur cette évolution, soit pour garantir une stabilité de conditions, soit pour revenir à un état stable à partir de perturbations (irréversibles dans le cas de sinistre).

Le caractère hautement automatisé du HF conduit à ce qu'un grand nombre de paramètres qui interviennent dans le processus soient indirectement accessibles à l'opérateur, un facteur de complexité de l'anticipation va concerner les inférences à faire en vue d'un pronostic d'évolution — d'où les actions à choisir dans un répertoire. Dans la lutte contre les FF, un nombre relativement limité de paramètres peuvent être pris en compte pour le pronostic d'évolution. Toutefois, les informations ne sont pas toutes directement consultables mais sont médiatisées par d'autres opérateurs (au lieu de l'être par un système automatisé). D'autre part, l'anticipation sur l'action exige de coordonner — dans un temps bref — les paramètres relevant de multiples « dimensions »: il faut en effet déterminer un ensemble d'actions, coordonnées dans l'espace et le temps, et évaluer les moyens qui leur sont associés, en tenant compte des délais nécessaires à ces moyens pour être opérationnels sur le lieu défini pour l'action.

Enfin, il existe pour les deux cas des outils d'aide à la gestion. Ces représentations externes (méthodes, synoptiques, logiciels, schémas, graphiques, etc.) que nous appellerons par la suite des outils cognitifs<sup>2</sup>, sont, d'une part, des représentations symboliques avec des propriétés (graphiques ou autres) spécifiques, et d'autre part des supports qui prennent en charge une partie des traitements cognitifs (Rogalski et Samurçay, à paraître). Ces outils sont élaborés par la profession au cours de son histoire, et correspondent ainsi à un ensemble de compétences collectives qui doivent être appropriées, sous une autre forme, par les nouvelles générations. Ainsi, pour la lutte contre le FF, un outil

graphique a été développé pour servir de support aux traitements cognitifs engagés en situation. Pour la conduite de HF, il existe divers outils d'aide à la conduite qui vont des systèmes de contrôle-commande qui donnent accès aux données instantanées, aux différents logiciels d'aide au pronostic. Nous reviendrons plus loin sur le rôle de ces outils dans la formation.

## ■ Un cadre conceptuel pour identifier et analyser les savoirs de référence ■

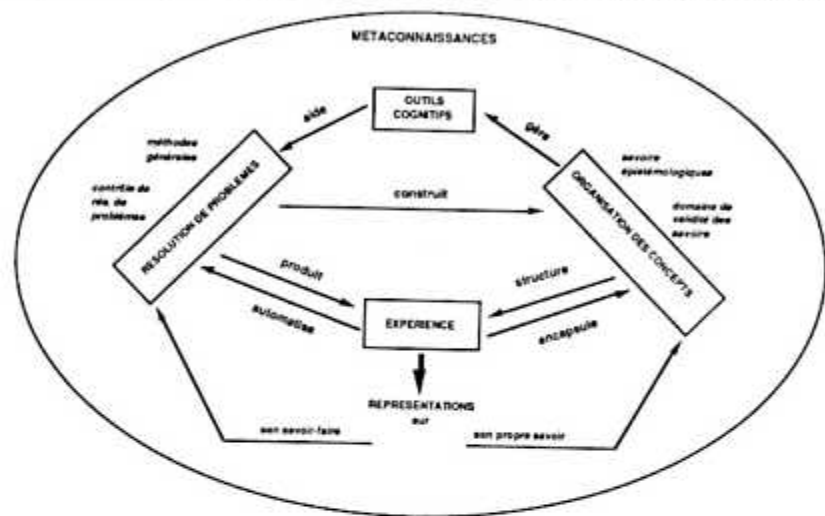
Une des différences importantes entre les situations de l'enseignement disciplinaire et de la formation professionnelle se situe dans l'organisation des connaissances à acquérir et à enseigner: cela a un effet sur les éléments à considérer dans la construction des savoirs de référence. Dans l'enseignement scolaire, les savoirs à enseigner constituent un ensemble homogène et sont finalisés à long terme par la résolution d'une classe de problèmes potentiels hétérogènes; par exemple, le champ conceptuel des problèmes multiplicatifs fait intervenir des concepts comme le produit, la division, etc., leurs acquisitions sont éprouvées dans des situations-problèmes très variées qui font intervenir ces concepts à différents niveaux. Dans la formation professionnelle, en revanche, ce sont les situations problèmes à traiter (les tâches) qui constituent une classe homogène, et plusieurs types de savoir différents doivent être acquis et enseignés pour l'accomplissement efficace des tâches. Par exemple, la tâche d'un conducteur de haut fourneau est de produire de la fonte. Il est évident que le conducteur doit construire des savoirs et savoir-faire de nature très différente, qui touchent à la thermodynamique, à la chimie, aux propriétés de la matière, à la lecture et à l'interprétation des courbes, au fonctionnement des automatismes, aux fonctions des agents dans le travail, aux consignes de sécurité et de fiabilité, etc. C'est l'intégration de cet ensemble de savoirs qui constitue l'expertise et que doit viser la formation.

Nous désignerons par **savoir de référence** un ensemble de « savoirs en acte efficaces » manifestés dans des pratiques professionnelles. Analyser et identifier le savoir de référence consiste à identifier les catégories d'objets et de traitements communes à des pratiques efficaces, qui sont quant à elles spécifiques à des situations, contextualisées et personnalisées. Cela revient à identifier les invariants (**conceptuels** et **stratégiques**) qui doivent être mis en œuvre pour le traitement d'une classe de situations donnée. L'analyse du travail pour la conception des contenus de formation n'est pas une approche nouvelle; Bisseret et Enard (1969) avaient déjà conçu des formations pour les contrôleurs de trafic aérien en partant des analyses des tâches et des activités.

La présente analyse s'appuie sur un double modèle: a) modèle des compétences effectives de l'opérateur; b) modèle de sa tâche effective dans les situations à traiter. Les notions de tâche et compétence sont

définies respectivement par Leplat (1991) comme deux descriptions d'une même réalité qu'est l'activité, l'une orientée vers la tâche et l'autre vers la personne. Le modèle de champ de connaissances opérationnelles « Keops » sert de cadre d'analyse des compétences de l'opérateur dans un domaine de tâches professionnelles (ou disciplinaires).

Figure 1. Keops : modèle d'organisation des connaissances opérationnelles



Ce modèle élargit la notion de champ conceptuel de Vergnaud (1991) aux domaines professionnels. Il comporte : (K) une **structure de connaissances** (un système de notions, ou « concepts », ou « entités », organisé en niveaux, avec des relations causales ou statiques entre entités ; des opérations sur les entités, et un système de représentations-signifiants) ; (E) un **ensemble de données d'expériences** (cas rencontrés non réduits à des informations symboliques : problèmes, entités, solutions) ; (O) des « **outils cognitifs** » (logiciels d'aide, représentations externes : schémas, synoptiques, abaques, méthodes de résolutions de problèmes) ; (PS) une **structuration des problèmes** (classification, concepts en jeu, modes opératoires). Des métaconnaissances (sur les tâches et connaissances en jeu, sur ses propres savoirs et savoir-faire) orientent, organisent et contrôlent les traitements cognitifs sur le domaine. Valot *et al.* (à paraître) montrent le rôle que jouent les connaissances des pilotes d'avion sur « les capacités qu'ils ont à faire certaines choses » dans l'élaboration de leur plan de vol.

Pour définir et analyser un système de formation qui vise à provoquer, améliorer ou optimiser les conditions d'acquisition de compétences que le sujet doit engager dans la représentation et la résolution de problèmes d'un domaine, il est nécessaire de prendre en compte à la fois le contenu sur lequel portent les activités et la structure des tâches.

## Des savoirs en acte au savoir de référence et les besoins en formation

La construction des savoirs de référence nécessite des analyses fines et variées de la tâche et de l'activité s'appuyant sur des méthodologies diverses. Dans l'enseignement disciplinaire, très schématiquement, ce sont le texte du savoir, l'histoire et l'épistémologie de la discipline qui servent de source pour l'analyse des contenus à enseigner. En ce qui concerne les domaines professionnels, bien qu'il existe souvent des tâches prescrites et des domaines de savoirs impliqués dans ces tâches, c'est seulement par l'analyse des savoirs en acte efficaces qu'on arrive à construire les contenus à enseigner. Par exemple, la tâche de conduite de HF fait appel, certes, aux concepts physico-chimiques de réduction, chaleur, viscosité, etc., mais également à une organisation de ces connaissances orientée par l'activité de conduite. Il en est de même pour la tâche de lutte contre les FF : en plus des connaissances techniques sur la combustion, les fonctionnalités des moyens de lutte et leur utilisation, la tâche fait appel à des connaissances organisationnelles qui concernent notamment la représentation des fonctions des opérateurs dans l'ensemble du dispositif opérationnel.

Le cadre « Keops », dont nous avons brièvement présenté l'organisation, sert de guide et d'outil structurant pour ces analyses. Les différentes méthodologies utilisées pour dégager les dimensions de compétences exigées par les tâches étudiées ne pourront pas être détaillées ici par manque de place ; nous renvoyons le lecteur aux articles déjà publiés. Elles correspondent en partie à des méthodes habituellement utilisées en psychologie ergonomique comme les entretiens avec les opérateurs, les observations en situations réelles ou simulées et les observations et analyses des situations de formation. Ces analyses ont permis d'identifier les composantes des compétences requises et existantes ainsi que les besoins en matière d'aide au travail et à la formation.

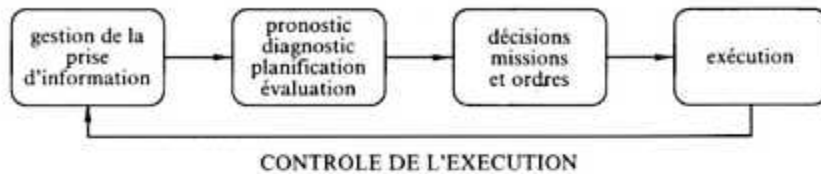
### Les points communs dans la gestion des environnements dynamiques

Au-delà des différences observées, plusieurs points communs ont été identifiés entre les deux situations étudiées, conduite de haut fourneau, lutte contre les feux de forêt. Ces points communs reflètent des invariants plus généraux de la gestion d'environnements dynamiques.

1. Les grandes catégories d'activités élémentaires développées dans le contrôle de ces situations sont essentiellement la gestion de la prise d'information, le diagnostic/pronostic, la planification, la prise de décision et le contrôle des effets des actions. Il est clair qu'en situation, ces activités sont mises en œuvre d'une façon imbriquée et intégrée, et c'est seulement pour les besoins de l'analyse qu'elles sont identifiées séparément. La figure 2 présente la boucle de gestion d'environnement dynamique où les tâches sont représentées d'une façon générique. Le fonctionnement de ce schéma d'une part peut comporter des courts-circuits

(dépendant du niveau d'expertise de l'opérateur et de la complexité du problème), et d'autre part doit être entendu d'une façon récurrente : on continue à parcourir les différentes étapes (à différents niveaux de raffinement) tant qu'un état acceptable n'a pas été atteint.

Figure 2. Schéma de la boucle de gestion d'environnement dynamique



Ce schéma décrit dans ses grandes étapes ce que doit être une stratégie optimale dans la gestion des environnements dynamiques. Il correspond en fait à des méthodes qui existent dans de nombreux domaines professionnels, comme la méthode de raisonnement tactique pour la lutte contre les feux de forêts. La formation à ces méthodes vise à faire acquérir des stratégies efficaces aux opérateurs qui n'ont pas eu l'occasion de les construire par l'expérience. En effet, les observations réalisées dans différentes situations de formation et de travail montrent que les stratégies spontanées peu efficaces consistent à résoudre les problèmes non pas dans l'ordre « analyse-but-moyen-action » mais dans un ordre guidé par la disponibilité des moyens « moyen-but-action-révision du but en cas de non réussite de l'action ». Autrement dit, les stratégies peu efficaces avancent derrière l'événement au lieu de le devancer, l'anticiper et l'attendre au bon moment, au bon endroit, avec les moyens qu'il faut.

2. Les activités de prise d'information, l'exécution et le contrôle de l'exécution ne sont pas directs : ils sont médiatisés par des systèmes informatisés ou automatisés dans le cas du HF, et par un système humain dans le cas des FF. La médiatisation nécessite également des connaissances spécifiques à construire pour évaluer, par exemple, la validité et la pertinence des informations. Dans les stratégies efficaces, la prise d'information est orientée par des hypothèses d'évolution ou par des buts d'action ; les connaissances du domaine jouent un rôle très important dans l'attribution du sens aux informations. L'explicitation et la modélisation des compétences développées par les opérateurs, liées à la prise d'informations, posent à l'heure actuelle des problèmes méthodologiques importants. De fait, la transmission explicite de ce type de connaissances pose également des problèmes.

3. Les activités de diagnostic/pronostic constituent une partie très importante de l'activité et portent essentiellement sur les représentations de l'état actuel et des évolutions possibles de la situation. Les anticipa-

tions s'appuient davantage sur la compréhension des évolutions passées et des états présents dans la conduite de HF, et sont davantage orientées vers la représentation des risques induits par le sinistre dans la lutte contre le feu de forêt. Dans les stratégies efficaces, l'état actuel du système est représenté dynamiquement (les opérateurs s'expriment en termes d'évolution plutôt que d'état) et des évolutions possibles de la situation sont générées, même hypothétiquement, lorsque l'évolution de la situation n'est pas calculable. On observe en revanche que les stratégies moins efficaces appréhendent l'état présent du système à partir des valeurs instantanées des paramètres, et construisent peu ou pas d'évolution ou de risques futurs possibles.

4. L'efficacité des stratégies de contrôle est déterminée, d'une part par la gestion simultanée de plusieurs hypothèses d'évolution tout au long du processus de préparation de la décision (pas simplement par la génération de ces hypothèses), et d'autre part par la nature des objets conceptuels (**variables construites** vs **variables observables**) manipulés dans la représentation du processus. Par variables observables, nous désignons celles qui sont mesurées (par exemple, les pressions pour le HF ou la vitesse du vent pour les feux de forêt), calculées suivant des modèles théoriques existants (par exemple, l'état thermique pour HF et les besoins en moyens pour FF), ou observées directement (par exemple, la couleur du laitier pour HF et l'état du front du feu pour FF). Les variables construites, en revanche, sont des représentations schématiques et opératives élaborées par et pour l'action ; elles sont le produit d'un processus historique et collectif, transmis essentiellement par expérience et compagnonnage, et permettent d'évaluer les situations actuelle et future. En ce qui concerne la conduite de HF, il s'agit de « descripteurs » qui correspondent à des phénomènes internes non directement mesurables du fourneau (par exemple, le descripteur « descente des charges » permet d'évaluer les phénomènes liés à la régularité et à la symétrie de la descente des matières solides dans le HF), et de « variables tactiques » qui correspondent au statut fonctionnel des données spatio-temporelles pour le feu de forêt (par exemple, les « rocares avant, droite, gauche » désignent des voies d'accès au feu selon leur place tactique lors de l'évolution du feu). D'autres auteurs (Pastré, 1991, et ce numéro) ont également souligné, avec des vocabulaires différents, l'importance des variables construites ; elles sont à rapprocher de l'image opérative de Ochanine (1972).

#### Modèles et « savoirs de référence »

Les recherches sur la conduite de HF ont permis d'approfondir l'analyse des connaissances opérationnelles (modèles mentaux des opérateurs), et d'élaborer un modèle de référence qui réduit la complexité due à la multiplicité des paramètres en interaction. Pour les feux de forêt, le modèle de référence intègre des connaissances opérationnelles sur la dynamique du sinistre, l'analyse tactique de l'espace, les relations entre buts d'action et moyens nécessaires.

Un modèle causal du fonctionnement du HF a été construit à partir des connaissances verbalisées par les opérateurs. Il a servi de base à un modèle de référence qui décompose le fonctionnement d'ensemble du HF en phénomènes « élémentaires » (descripteurs) : ces phénomènes (thermique, chimique, aérodynamique...) correspondent à des points de vue différents sur le processus. Le modèle est hybride : il contient à la fois les connaissances scientifiques des ingénieurs et les connaissances opérationnelles des opérateurs ; il utilise simultanément des représentations topologiques, fonctionnelles, causales, en intégrant les actions possibles de l'opérateur. Une première validation de ce modèle (Hoc et Samurçay, sous-presses) montre que des descripteurs sont sous-utilisés par les opérateurs lorsque ceux-ci ne peuvent pas agir directement sur les descripteurs. On peut alors faire l'hypothèse que les représentations liées à certains descripteurs peuvent difficilement être construites par l'expérience en situation de travail. Une deuxième hypothèse explicative concerne la complexité conceptuelle relative des différents phénomènes physiques et chimiques sous-jacents à ces descripteurs. On peut faire l'hypothèse qu'il est plus facile de conceptualiser des phénomènes de nature mécanique (équilibre entre la pression des gaz montants et celle exercée par le poids des solides descendants) que ceux de nature thermodynamique (équilibre entre les apports thermiques et les besoins thermiques du système).

Le modèle de référence feu de forêt a été construit<sup>3</sup> dans une perspective opérationnelle et de formation, à partir des modèles utilisés effectivement sur le terrain par les experts, des connaissances sur la dynamique du feu (propagation, puissance, risques) et sur les moyens de lutte à lui opposer (actions, moyens matériels et humains, conditions de terrain). Pour définir un dispositif de lutte, il faut résoudre une « équation empirique » : les moyens qu'il faut, à l'endroit qu'il faut, pour faire ce qu'il faut, au moment où il faut. Dans les termes du modèle, cela se traduit par la détermination de « points » d'un cadre tactique multidimensionnel : espaces  $\times$  temps  $\times$  moyens  $\times$  actions. L'utilisation du modèle s'appuie sur un outil graphique, qui permet en un seul schéma de se déplacer dans le cadre de ces quatre dimensions. L'image opérative du feu intégrée dans l'outil d'une part permet le passage entre les variables perçues et les variables tactiques, et d'autre part est un support à la communication opérative.

### ■ Passage des situations de travail aux situations de formation : simulations et spécification des situations didactiques

L'articulation des savoirs et savoir-faire fait toujours partie des problèmes de la formation. Sans développer ce point qui continue à faire couler beaucoup d'encre, nous soulignerons le fait que la formation

professionnelle, quel qu'en soit le contenu, ne peut pas se réduire à l'enseignement du texte des savoirs, ni se passer d'une formation explicite à leur mise en œuvre et contrôle.

Les situations utilisant des simulations de processus sont apparues jusqu'à maintenant comme la solution idéale de la formation aux activités de gestion d'environnements dynamiques (navigation aérienne et maritime, contrôle de centrale nucléaire...), justement parce qu'une grande partie des savoirs opérationnels ne sont pas réductibles au texte du savoir. Ainsi, on s'attend à ce que les formés ayant passé un temps suffisant sur le simulateur, avec des actions correctrices apportées par le formateur, construisent des connaissances et des savoirs-en-acte leur permettant de résoudre des problèmes réels analogues ou nouveaux. La fiabilité du simulateur se mesure alors au degré de fidélité avec lequel il reproduit le réel, et par son efficacité évaluée au gradient de transfert de connaissances dans le traitement des situations réelles.

### Les limites de la simulation

Aujourd'hui, les actions de formation menées avec les simulateurs reposant sur une conception didactique naïve ont montré leurs limites : on arrive difficilement à simuler l'ensemble des contraintes qui s'exercent sur l'activité réelle ; l'adaptation aux simulateurs ne produit pas nécessairement des connaissances transférables à des situations nouvelles, et ne permet pas nécessairement le changement de point de vue, qui est nécessaire dans beaucoup de cas pour la conceptualisation des pratiques et pour la transférabilité des acquis lors du changement des dispositifs d'action.

Il s'agit donc de repenser aujourd'hui les rapports entre la simulation et les situations de formation (Leplat, 1988) : *a)* en définissant le système simulé comme une interaction de l'ensemble sujet-tâche-système technique ; *b)* en intégrant le système simulé dans un cadre plus général de formation, car on sait depuis longtemps que les savoirs mobilisés en acte ne sont pas reconstruits spontanément au niveau des connaissances conceptuelles ; *c)* en évaluant les simulateurs non seulement du point de vue de leur fidélité technique mais surtout de leur fidélité fonctionnelle. Il s'agit de simuler non pas le réel mais le problème. Nous distinguerons avec Leplat (1988) plusieurs dimensions qui doivent être considérées dans la conception et l'évaluation des systèmes simulés : *a)* les buts assignés à l'activité ; *b)* les conditions techniques du processus (ou du réel) à simuler ; *c)* les conditions physiques et organisationnelles de l'exécution ; *d)* les caractéristiques des sujets en formation et de l'activité.

Par ailleurs, en ce qui concerne les deux domaines que nous avons étudiés, la simulation du système pose des problèmes liés à trois caractéristiques : *a)* il n'existe pas de modèles susceptibles de rendre compte de la totalité du fonctionnement ; *b)* l'activité est médiatisée non seulement par une interface intégrée dans le processus physique (comme dans le contrôle de HF) mais aussi par des communications opératives,

c'est-à-dire des communications échangées entre acteurs humains, orientées par la tâche commune à accomplir (ceci est totalement vrai dans le cas de FF); c) la gestion de la prise d'information ne se fait pas seulement à partir d'une information symbolique, mais aussi par une activité perceptive directe qui s'interprète ensuite en termes symboliques: par exemple, la couleur de la fonte dans le HF et la quasi-totalité des informations pour le FF. Dans le cas de FF, s'ajoute le problème de la didactification des connaissances organisationnelles permettant aux sujets en formation de se représenter non seulement leur propre fonction mais également celle des autres acteurs dans l'ensemble du dispositif opérationnel.

### Les dimensions dans la transformation de situations de travail en situations de formation

L'analyse des situations de simulations et de leurs limites conduit à poser le problème de la transformation des situations de travail en situations de formation. Dans ce qui suit, nous définirons un certain nombre de dimensions qu'on peut manipuler pour cette transformation.

1. La complexité des tâches : les situations de formation ne peuvent pas prendre comme objet uniquement un sous-ensemble de concepts et de stratégies. Elles sont obligées de considérer l'ensemble du travail. Une méthode consiste à faire travailler les stagiaires sur des sous-tâches en les décontextualisant partiellement et en simulant les autres sous-tâches ou les autres acteurs du système. Cette méthode, qui a été mise en œuvre par Bisseret et Enard (1969), a prouvé son efficacité dans la formation des contrôleurs de trafic aérien. Par exemple, si on veut faire travailler les stagiaires sur l'anticipation des risques dans le cas des FF, on peut les mettre dans une situation où la représentation de l'état actuel du système leur est fourni par le formateur ou par un système. Par ailleurs, en fonction des compétences attendues des contrôleurs d'environnements dynamiques, les situations de formation doivent comporter des incidents rares pour lesquels les opérateurs n'ont pas de procédures préétablies.

2. Les outils cognitifs : comme nous l'avons analysé plus haut, ces outils constituent à la fois des ressources et des cadres pour structurer des connaissances agies. Les deux modèles de référence, HF et FF, que nous avons présentés plus haut, peuvent servir de ressources et de cadre pour l'acquisition des connaissances sur le fonctionnement du système. Néanmoins, leur utilisation oblige les opérateurs à acquérir des connaissances spécifiques. Nous avons analysé ailleurs les fonctionnalités de tels outils pour la formation et pour l'action efficace (Rogalski & Samurçay, à paraître).

3. Les paramètres de la situation: les dimensions cognitives avec lesquelles nous avons caractérisé les environnements dynamiques au

début de ce texte peuvent être utilisées pour construire des situations de formation plus ou moins contraignantes qui obligent à construire des connaissances et des procédures nouvelles. Ainsi, pour les besoins de la formation, on peut rendre plus ou moins accessibles, ou plus ou moins directs, certains paramètres du système. Cela permettrait de faire travailler les sujets en formation sur des activités d'inférence et de gestion des raisonnements sur des chaînes causales dont on choisit la longueur et la complexité. Les contraintes temporelles sont également une variable intéressante à manipuler pour la formation aux activités de contrôle d'environnements dynamiques, dans lesquelles la dimension temporelle joue un rôle clé aussi bien dans la représentation des évolutions du processus que dans celles des effets d'actions sur ce processus. Par exemple, en jouant sur les délais de réponse du système, on peut contraindre les formés à anticiper davantage et à travailler sur des états futurs hypothétiques.

4. Les situations d'activités collectives comme situations de formation peuvent, sous certaines conditions, produire non seulement des connaissances collectives mais aussi des connaissances individuelles. Par exemple, les travaux réalisés par Hutchins (1991) sur la formation à la navigation maritime montrent que les stagiaires peuvent acquérir des connaissances sur le contenu de leur travail « en regardant les autres faire », à condition que les activités des autres soient rendues transparentes au niveau des lieux de travail eux-mêmes par les supports externes de l'activité et par la possibilité de commentaires explicites. De même, dans une étude que nous avons réalisée dans la sécurité civile, on a pu montrer que des opérateurs, avec peu d'expérience opérationnelle directe, avaient néanmoins développé des compétences dans la représentation des risques, l'anticipation, l'organisation fonctionnelle du travail des acteurs, en travaillant dans les centres opérationnels où interagissent des opérateurs de qualifications variées et où les activités de lutte contre les FF sont commentées, évaluées, etc. (Rogalski & Samurçay, 1991b).

5. Les métaconnaissances, qui sont des réflexions sur les connaissances agies, peuvent jouer un rôle producteur de connaissances et/ou servir d'ancrage à de nouvelles acquisitions. *Debriefing*, feedback analytique sur les conditions développées en situation, analyse de situations réelles non encore rencontrées par les stagiaires, commentaires sur les actions menées et sur les décisions prises, constituent quelques modes utilisés actuellement pour produire des connaissances par une intervention « méta » sur l'action.

### Conclusions

Dans les formations professionnelles, l'objectif de la formation constitue une des spécificités importantes des situations considérées. Dans le type

de situations que nous avons étudiées, il ne s'agit pas de faire acquérir aux formés des compétences dites générales, qui portent sur les processus cognitifs généraux, et où l'enjeu de la formation est l'appropriation par les formés d'une démarche rationnelle de représentation du « réel quotidien », ni d'établir des relations entre la théorie et la pratique par la conceptualisation et la prise de conscience de l'action (Malglaive, 1990). Il s'agit de l'appropriation d'un « réel professionnel » déjà fortement structuré par des connaissances scientifiques et techniques: la formation vise à définir des situations qui détachent les formés des actions contextuelles et circonstancielles — nécessairement limitées et spécifiques — pour qu'ils se construisent la logique de l'action.

Le modèle « Keops » de champ des connaissances opérationnelles présente un cadre d'analyse des compétences de l'opérateur qui définit des « composants » dont la formation vise l'évolution. Les objets d'enseignement sont définis à partir des savoirs de référence construits dans les deux cas étudiés: les modèles de référence HF et FF, qui mettent en relation structure des connaissances, organisation de l'action et outils d'aide. Pour mettre en scène ces objets d'enseignement, plusieurs dimensions peuvent être manipulées pour transformer des situations de travail en situations de formation (soit en simulation, soit *in situ*): mode de décontextualisation de tâches complexes, introduction des outils cognitifs, jeu sur les paramètres « cognitifs » de la situation (accessibilité des informations, délais de réponses, longueur des chaînes causales, calculabilité des évolutions, place des raisonnements sous hypothèse), environnement cognitif des situations collectives, modalités d'intervention « méta » sur l'action.

Restent ouverts des points pour lesquels se posent des problèmes théoriques et méthodologiques, non seulement pour construire des situations de formation, mais également pour construire des savoirs de référence. Les situations où les modifications attendues portent sur le passage des activités de nature sensori-motrice à la manipulation des informations symboliques qui les représentent, sont difficiles à gérer: dans un certain nombre de cas, l'activité efficace ou l'expertise sont caractérisées par des comportements relevant de la reconnaissance de forme; ces compétences sont difficilement explicites et transmissibles. Par ailleurs, il y a encore bien des études à faire pour pouvoir répondre à la question du passage des situations vécues — et éventuellement contrôlées en cours d'action — à leur explicitation à un niveau qui fasse du sens pour l'apprenant. Dans les deux cas, le problème didactique majeur est le passage de l'expérience des experts à la connaissance des opérateurs à qualifier.

1. L'opérateur, terme courant en psychologie du travail, désigne systématiquement l'acteur humain qui effectue la tâche.
2. Les outils cognitifs sont différents des ressources cognitives qui se situent quant à elles du côté du sujet, et désignent tous les

éléments que le sujet est capable de mettre en œuvre pour traiter une tâche.

3. Par le Lieutenant-Colonel F. Robert, directeur du Centre interrégional de formation de la sécurité civile de Valabre.

## Bibliographie

- AMALBERTI, R. 1991. « Savoir-faire de l'opérateur », in: R. Amalberti; M. de Montmollin; J. Thereau (dir. publ.), *Modèles en analyse du travail*, Bruxelles, Mardaga, pp. 279-294.
- BARON, M.; ROGALSKI, J.; SAMURÇAY, R. 1988. « Un système de traitement de situations dynamiques complexes: analyse de la décision avec une méthode de raisonnement tactique (MRT); conséquences pour l'élaboration d'aides à la formation », *Congrès européen de systémique CES I*, Paris, AFCET, pp. 697-709.
- BISSERET, A.; ENARD, C. 1969. « Le problème de la structuration de l'apprentissage d'un travail complexe: une méthode de formation par interaction constante des unités programmées (MICUP) », *Bulletin de psychologie*, 284, pp. 632-648.
- CHEVALLARD, Y. 1985. *La transposition didactique*, Grenoble, La Pensée sauvage.
- HOC, J.M. 1989. « La conduite d'un processus continu à longs délais de réponses: une activité de diagnostic », *Le travail humain*, 52, pp. 289-316.
- HOC, J.M.; SAMURÇAY, R. (sous presse). « An ergonomic approach to Knowledge representation », *Reliability Engineering and System Safety*.
- HOC, J.M. (sous presse). « Effets de la complexité de la situation et de l'expertise des opérateurs dans la conduite de haut fourneau », *Le travail humain*.
- HUTCHINS, E. 1991. « The technology of team navigation », in: J. Galegher; R.E. Kraut; C. Egido (dir. publ.), *Intellectual Teamwork: Social and Technological Foundations of Cooperative Work*, LEA, Hillsdale.
- MALGLAIVE, G. 1990. *Enseigner à des adultes*, Paris, PUF.
- LEPLAT, J. 1988. « Les simulateurs comme instruments d'étude de la fiabilité humaine », *Cinquième séminaire européen sur la sécurité des systèmes*, Cannes, pp. 211-227.
- LEPLAT, J. 1991. « Compétence et ergonomie », in: R. Amalberti; M. de Montmollin; J. Thereau (dir. publ.), *Modèles en analyse du travail*, Bruxelles, Mardaga, pp. 263-278.
- OCHANINE, D.; QUAAS, W.; ZALTMAN, 1972. « Déformation fonctionnelle des images opératives », *Questions de psychologie*, 3, (traduit dans: *L'image opérative*, Université Paris I, 1981).
- PASTRÉ, P. 1991. « Rôle de la conceptualisation dans la conduite de machines automatisées », Rapport de fin de contrat MRT n° 88D0828, CAFOC, Chenove.
- RASMUSSEN, J. 1986. *Information Processing and Human-Machine Interaction*, Amsterdam, North-Holland.
- ROGALSKI, J. 1988. « Analyse cognitive d'une méthode de raisonnement tactique et de son enseignement à des professionnels », *Le travail humain*, 50, 4, pp. 305-317.
- ROGALSKI, J.; SAMURÇAY, R. (à paraître). « Représentations: outils cognitifs pour le contrôle d'environnements dynamiques », in: A. Weill-Fassina; P. Rabardel; D. Dubois (dir. publ.), *Représentations pour l'action*, Publication PIRTEM.

ROGALSKI, J. ; SAMURÇAY, R. 1991 a.  
« Modélisation d'un " savoir référence " et  
transposition didactique dans la formation  
professionnelle de haut niveau », *Publication du GR-Didactique des  
disciplines scientifiques*.

ROGALSKI, J. ; SAMURÇAY, R. 1991 b.  
« Effects of expertise on knowledge  
representations in dynamic environment  
management », *3rd European Conference  
on Cognitive Science Approaches to Process  
Control*, Cardiff, pp. 105-114.

ROGALSKI, J. ; SAMURÇAY, R. ; HOC, J.M.  
1988. « L'apprentissage des méthodes de  
programmation comme méthodes de  
résolution de problème », *Le travail  
humain*, 51, 4, pp. 309-320.

SAMURÇAY, R. ; HOC, J.M. 1988. « De  
l'analyse du travail à la spécification  
d'aides à la décision dans des  
environnements dynamiques », *Psychologie  
française*, 3, pp. 187-196.

SAMURÇAY, R. ; ROGALSKI, J. 1988.  
« Analysis of operator's cognitive activities  
in learning and using a method for  
decision making in public safety », in :

J. Patrick, K. Duncan (dir. publ.),  
*Training, Human Decision and Control*,  
Amsterdam, North Holland, pp. 133-152.

SAMURÇAY, R. ; ROGALSKI, J. (soumis à),  
« Cooperative work and decision making  
in emergency management », *Le travail  
humain*.

VALOT, C. ; GRAU, J.Y. ; AMALBERTI, R.  
(à paraître), « Les métaconnaissances : des  
représentations de ses propres  
compétences », in : A. Weill-Fassina ;  
P. Rabardel ; D. Dubois (dir. publ.),  
*Représentations pour l'action*, Publication  
PIRTTEM.

VERGNAUD, G. 1985. « Concepts et  
schèmes dans une théorie opératoire de la  
représentation », in : S. Ehrlich (dir. publ.),  
« Les représentations », *Psychologie  
française*, 30, 3, 4, pp. 245-252

VERGNAUD, G. 1991. « La théorie des  
champs conceptuels », *Recherches en  
didactique de mathématiques*, 10,  
pp. 133-170.