

Gestion et contrôle des projets de R-D: des systèmes experts pour l'innovation technologique

Ann SÉROR

INTRODUCTION

L'innovation technologique est, à l'heure actuelle, une véritable gageure pour l'organisation industrielle. L'objectif de cet article est d'analyser la recherche et le développement comme un processus administratif complexe et d'envisager la conception de systèmes informatisés experts pour la prise de décision intégrée à différents niveaux de l'organisation, c'est-à-dire aux niveaux de l'adoption d'une politique, du fonctionnement et du projet de recherche. L'article est structuré de la manière suivante:

- tout d'abord, la base de l'analyse, le contrôle directorial, est introduite par une discussion de certaines implications du contexte organisationnel;
- ensuite, des systèmes experts et cybernétiques de représentation cognitive seront examinés dans une perspective de contrôle directorial de l'environnement de la recherche et développement;
- les sections suivantes seront consacrées à la présentation de chacun des trois niveaux de la prise de décision: la planification stratégique, la sélection de projet et l'allocation des ressources; l'ordonnancement et la supervision du projet; et enfin l'étude du projet. Dans chaque section, des méthodes et modèles analytiques existants seront présentés avec des exemples d'application de systèmes experts où ceux-ci ont été mis au point;
- les conclusions et recommandations pour les recherches ultérieures seront présentées dans la dernière partie, avec une insistance particulière sur l'aspect interdisciplinaire de ce domaine et l'utilité de systèmes experts pour la modélisation de l'organisation sociale.

Traduit de l'anglais par P. Drienne, ISLV, Université de Liège.

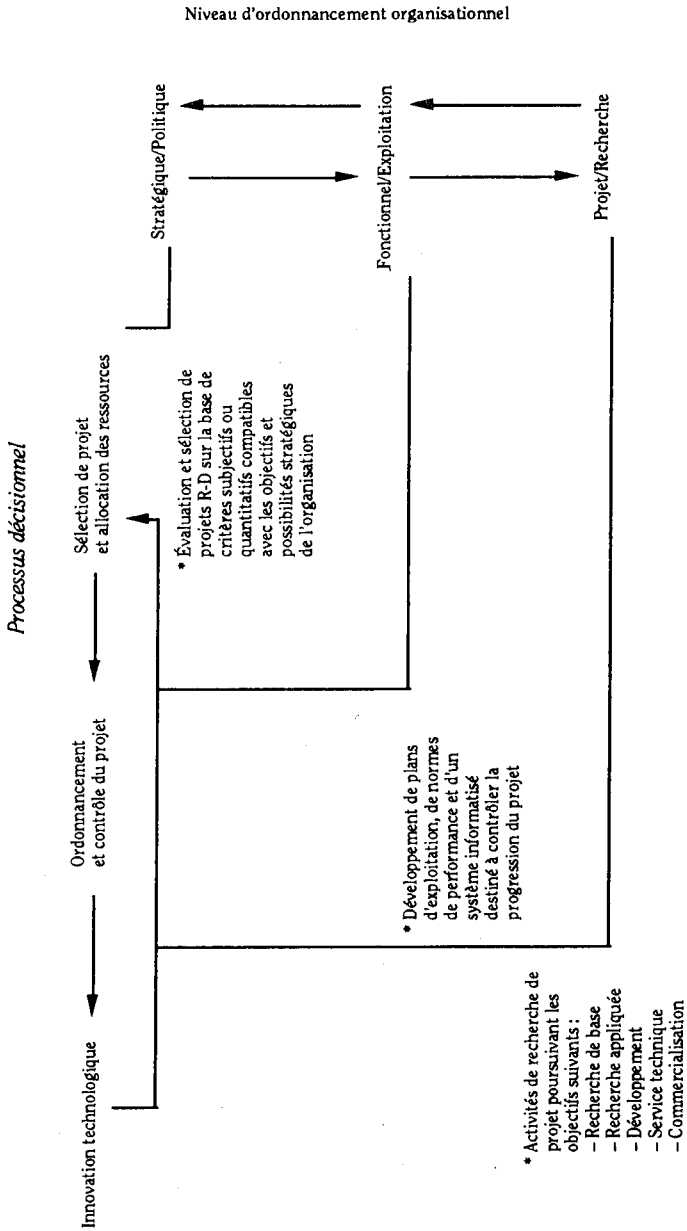
INNOVATION ET CONTEXTE ORGANISATIONNEL

La recherche et le développement est un processus à plusieurs niveaux impliquant des décisions directoriales de sélection de projet, d'allocation des ressources, d'ordonnancement, de contrôle et de recherche d'innovation technologique.

Les différents niveaux de gestion – adoption d'une politique, exécution et projet de recherche – seront envisagés dans le cadre du contrôle directorial, illustré au tableau 1. Le contrôle directorial est un cycle itératif comprenant les phases suivantes: (a) planification stratégique en vue de l'intégration d'objectifs organisationnels et de recherche, (b) création d'alternatives pour atteindre les objectifs définis, (c) évaluation des alternatives à la lumière des objectifs et des priorités organisationnels et de recherche, (d) sélection et mise en place d'une alternative, (e) contrôle de l'avancement du programme dans le cadre de l'alternative choisie pour établir et enregistrer les divergences par rapport à l'état d'avancement désiré et (f) diagnostic de ces divergences dans le but de formuler des hypothèses de causalité et d'établir des mesures correctives (Courtney *et al.*, 1987). Par itérations successives du processus, la surveillance de l'avancement du programme pourra donner lieu à des mesures correctives visant à limiter les divergences par rapport à l'alternative précédemment choisie et à réviser la planification stratégique. On pourra tirer un enseignement aux niveaux individuel et organisationnel d'analyse (Courtney *et al.*, 1987). Pour cette raison, le contrôle organisationnel représente une structure tout à fait appropriée à l'application de systèmes experts dans le domaine de recherche et développement (tableau 1).

La structure de contrôle organisationnel est appliquée aux activités de recherche selon une conception organisationnelle «projet-dominant» ou «phase-dominante» illustrée au tableau 2 (Baker et Sweeney, 1978). Le mode d'organisation «projet-dominant» intègre toutes les phases de recherche, de développement, d'ingénierie, de fabrication et de marketing visant la réussite de la commercialisation d'un produit ou d'un procédé nouveau ou amélioré. Le mode «phase-dominante», au contraire, comprend la sélection de projet, l'allocation des ressources et la supervision de chaque phase d'activité R-D. Selon l'hypothèse émise par Baker et Sweeney (1978), le mode «phase-dominante» favorise les innovations relativement modestes, comportant une seule phase, envisagées à court terme, alors que la conception «projet-dominant» appuie des innovations technologiques plus complexes dont l'achèvement complet est envisagé à plus long terme.

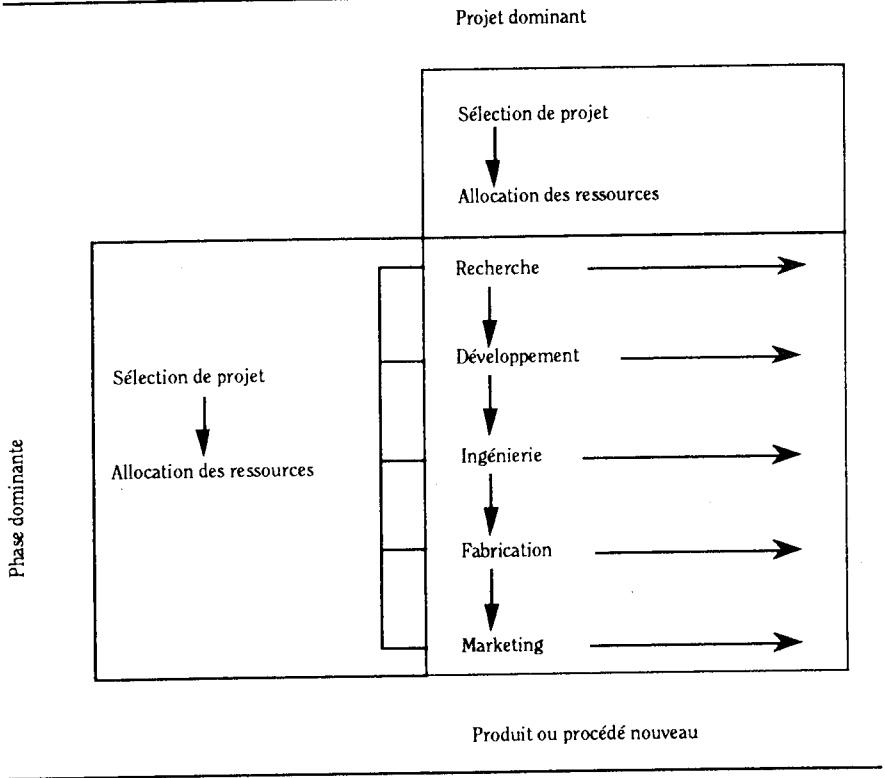
TABEAU I
Prise de décision organisationnelle pour la recherche et le développement



* Point de contrôle décisionnel

(Tushman et Katz, 1980)

TABLEAU 2
Recherche et développement



La gestion de projet R-D constitue un défi au contrôle effectif pour un certain nombre de raisons majeures (Sathi *et al.*, 1988). L'environnement de projet R-D représente un cadre unique dans lequel l'élément de comportement organisationnel de la fonction de contrôle doit être intégré dans la conception du SE (système expert) dans le cadre de la gestion d'activités de R-D (Henderson, 1987). Dans la perspective d'une conception efficace du système de contrôle, les aspects interpersonnels dans le rôle du directeur de projet doivent être respectés (Cleland et King, 1983). En raison du nombre et de la complexité des activités liées au projet, il est impossible de rassembler des informations valables et immédiates décrivant globalement des stades d'avancement du projet en cours ou d'établir des priorités légitimes. Les services organisationnels qui dirigent les activités de projet ont des cultures très diversifiées, ce qui tend à favoriser les conflits entre services, alors que la performance d'un projet exige une très grande collaboration entre les

activités d'ingénierie, d'achat, de marketing, de fabrication et autres. Tout changement intervenu dans la structure ou la fonction d'un service se répercute sur la gestion de tout le programme. La complexité de gestion d'un projet de recherche et développement est fonction de l'acuité analytique des activités spécialisées à diriger, ainsi que de leur grande diversité. La profondeur et l'ampleur analytiques du domaine de R-D chargé de solutionner les problèmes constituent à la fois un défi et une opportunité pour l'application de systèmes experts.

La section suivante est consacrée à des définitions de systèmes experts dans le cadre des exigences de recherche et développement, et à l'analyse de leur application à un système de contrôle R-D intégré.

SYSTÈMES EXPERTS AU SERVICE DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT

Un système informatisé expert peut se définir comme de l'ingénierie cognitive gérée par ordinateur, destinée à obtenir des résultats experts dans le domaine de la résolution de problème. Les systèmes experts peuvent être définis tout d'abord par plusieurs capacités élémentaires (Hayes-Roth *et al.*, 1983; Sviokla, 1986). Le système est capable d'appliquer un jugement expert, de raisonner par manipulation symbolique et utilisation de principes fondamentaux, de reformuler des problèmes à partir d'une description simple dans une structure appropriée à l'application experte de règles, et de reconstruire des voies d'inférence pour expliquer la solution apportée au problème. Le raisonnement peut être défini ici en termes de réflexion selon les théorèmes d'un système logique (Galotti, 1989).

Deux éléments essentiels sont à la base du système expert. Tout d'abord, la base de connaissance réunit les compétences du domaine. Ensuite, le mécanisme de présentation et le moteur d'inférence comprend la série de règles destinées à organiser l'utilisation des compétences définies. L'objectif de l'ingénierie cognitive est d'imiter le comportement de l'expert dans un contexte particulier de résolution de problème (Leonard-Barton, 1987; Leonard-Barton et Sviokla, 1988). Le système expert capte ainsi les capacités pratiques de jugement, ainsi que les informations expertes. L'expert n'est pas forcément capable d'explicitier la compétence et c'est pourquoi la simulation de comportement décisionnel est nécessaire pour modéliser le processus de résolution du problème. Le système expert représente des tâches de résolution de problème relativement peu structurées, où l'absence de structure, le manque de variables numériques spécifiées, de fonctions objectives ou d'algorithmes, se soldent par une certaine imprécision. Le caractère peu structuré de la tâche de résolution de problème est sans doute également liée à

l'existence d'un grand nombre de stratégies de solutions ou à un degré très important d'inconstance du problème. Le système expert impose une structure en représentant des solutions à partir d'un processus d'interaction entre celui qui solutionne le problème et l'environnement de travail.

Le processus analytique du système se fait en deux stades: d'abord, la définition de l'événement ou le diagnostic basé sur une série d'indicateurs ou d'arguments de données; ensuite, la formulation d'une stratégie de réponse appropriée à partir de la définition de l'événement. Étant donné ces deux stades d'analyse, on peut classer les exigences croissantes de jugement expert dans les domaines de décision suivants (Sutherland, 1986):

- déterminisme: un événement particulier est complètement identifié de commun accord sur une tactique de réponse entièrement élaborée;
- stochastique scalaire: il existe une certaine incertitude quant à la variante exacte de l'événement dans le cadre d'un ordre spécifique, et l'identification d'une seule tactique de réponse qui soit la meilleure implique une certaine ambiguïté;
- macrodéterminisme: l'événement est tracé sur un ordre particulier de phénomène d'après un accord établi sur un ordre particulier de stratégie de réponse;
- stochastique d'état: on attribue à de multiples états causaux d'importantes probabilités de représenter l'explication de l'événement, et il existe de multiples options de réponse stratégique;
- indéterminisme: l'événement ne peut pas être identifié dans le cadre d'un ordre donné parce que les données disponibles sont inadéquates ou parce que l'événement lui-même est sans précédent; l'ordre de réponse est dès lors tout à fait original.

La gestion réelle de la définition d'événement, du diagnostic et de la stratégie de réponse varie en fonction de la complexité de l'environnement et de la mission d'organisation, ainsi que de la position hiérarchique du décideur. Les acteurs opérant aux niveaux hiérarchiques supérieurs se chargent de traiter l'indéterminisme auquel l'organisation doit faire face – par exemple des marchés très instables – et établissent un tampon de protection pour leurs subordonnés qui opèrent par conséquent dans un contexte plus déterminé (Ow et Smith, 1987; Sage et Rouse, 1986; Sutherland, 1986). Le tableau 3 représente une analyse, adaptée d'un contexte militaire, des niveaux de décision sur les plans stratégique, tactique et d'exploitation appliqués aux dimensions de tâches (Sage et Rouse, 1986). L'analyse montre comment le caractère de l'information et le processus de décision lui-même varient en fonction du type de décision exigé. Les décisions stratégiques peuvent être envisagées, par opposition aux autres décisions de gestion ou d'exploitation, d'après les

dimensions de connaissance du problème, d'homogénéité, de prévisibilité et de contraintes de temps (Sabherwal et Grover, 1989).

TABLEAU 3
Analyse des tâches et niveau décisionnel

NIVEAU DÉCISIONNEL

	Niveau d'exploitation	Niveau tactique	Niveau stratégique	
DIMENSION DE TÂCHES	Clarté des objectifs	Explicite	_____	Implicite (interprété)
	Incertitude	Faible	_____	Important
	Rassemblement d'informations	Faible niveau d'abstraction	_____	Niveau d'abstraction important
	Production d'options	Solutionnement réactif	_____	Ordonnancement proactif
	Évaluation d'options	Champ d'application étroit	_____	Champ d'application large
	Sélection d'options	Critères clairs	_____	Critères ambigus
	Structure	Important	_____	Faible
	Contraintes de temps	Important	_____	Faible
	Risque personnel	Important	_____	Faible

La représentation de la connaissance repose sur deux séries d'axiomes épistémologiques décrivant la connaissance et le connaissant (Gregory, 1986). Tout d'abord, la perspective du système expert suppose un monde logiquement distinct de ceux qui l'observent et le manipulent. La connaissance en soi est distincte et séparée du processus par lequel elle s'acquiert et de celui qui la possède. On peut considérer un ensemble de connaissances comme un ensemble d'objectifs intimement liés par une série de règles. Elle est analysable et peut se dissocier en plusieurs composantes primitives, un peu comme une

marchandise. Cette définition de la connaissance entraîne certains problèmes particuliers dans l'élaboration de systèmes experts, dont l'acquisition d'une connaissance libre de toute influence émanant des experts ou des moyens d'acquisition, la représentation objective du monde et la formulation de solutions réalistes.

Les systèmes de représentation cybernétiques, au contraire, définissent la connaissance comme le processus et le produit de sa propre résolution (Gregory, 1986). La connaissance est à la fois le processus par lequel elle s'acquiert et le système de relations entre les connaissant et le monde extérieur. La décomposition ou réduction de la connaissance en composantes primitives se base sur la perspective du connaissant. C'est en se basant sur ces axiomes que la représentation cybernétique reproduit la cohérence des différentes perspectives et maintient leurs distinctions pour faciliter la résolution des conflits et ambiguïtés.

On peut considérer la représentation de la connaissance par systèmes experts et cybernétiques comme complémentaire dans ses applications à la gestion de recherche et de développement. Un réseau de systèmes experts spécialisés dans des domaines décisionnels restreints peut être organisé, sollicité et contrôlé par un système de représentation méta-cybernétique, ayant de plus grandes possibilités de résoudre conflits et ambiguïtés (Elam et Konsynski, 1987; Gregory, 1986).

Si l'on applique des systèmes experts à la gestion de projet, l'évaluation de la zone d'échange entre l'homme et l'ordinateur est critique, étant donné l'importance considérable du facteur humain et les hautes exigences de coopération dans le processus de prise de décision distribuée (Henderson, 1987). L'analyse comparative suivante des forces et faiblesses du décideur humain et du système expert constitue une base explicite pour l'attribution de tâches (Schwartz *et al.*, 1986). Parmi les points forts de la technologie, retenons l'enregistrement de données et la détermination de relations entre des variables, comme la corrélation. Les principales faiblesses se situent au niveau de l'intégration de données conceptualisées, de l'utilisation de données périodiques (comme des contingences de situation imprévisibles), et de l'application de l'heuristique ou de méthodes empiriques. Les points forts de l'acteur humain se situent au niveau du jugement de la pertinence des données, de la détermination de l'objet auquel appartiennent des données particulières et de l'intégration d'informations conceptualisées. Le jugement humain présente certaines lacunes pour déterminer la présence et la force de relations causales ou autres ainsi que pour évaluer l'intégrité des données, dont la fiabilité et la cohérence et les tendances inhérentes à la présentation.

Depuis les récents progrès des systèmes experts, il est devenu encore plus difficile de déterminer la répartition des tâches entre l'acteur humain

et le système expert (Schwartz *et al.*, 1986). Bien qu'un des rôles de la recherche en matière de systèmes experts ait été d'accentuer l'autonomie du système dans la prise de décision en transmettant l'intelligence automatisée, la puissance et la vitesse croissantes des nouvelles technologies ont en fait élargi le rôle réel et potentiel du décideur humain.

Dans l'application de systèmes experts à la gestion et au contrôle de projets R-D, le choix et la gestion d'outils de modélisation sont critiques, ainsi que l'intégration d'informations sur base de données et sur base théorique. Alors qu'il existe des programmes de calcul ou des algorithmes pour la sélection de projets, l'allocation des ressources, la planification et le contrôle, il est nécessaire d'avoir un jugement d'expert sur le contexte de R-D pour les domaines d'évaluation des modèles appropriés et d'élaboration de stratégies décisionnelles intégrées. L'application d'un système expert dans un cadre d'innovation technologique dans un groupe de projet constitue une véritable gageure. Les modèles de communication contribuant à la gestion de base de la recherche sont très complexes et les exigences au niveau du traitement de l'information des tâches de résolution de problème sont difficiles à modéliser. Dans un environnement tellement mal structuré, des systèmes experts appliqués à d'autres types de décision R-D peuvent servir de support dans les domaines de supervision et de contrôle, là où la compétence axée sur l'organisation est cruciale, alors que le processus d'innovation en soi reste inaccessible à la représentation par système expert.

Aux paragraphes suivants, nous envisagerons de manière plus détaillée les trois types de prise de décision directoriale représentés au tableau 1 et la conception de systèmes experts pour la recherche et le développement.

PLANIFICATION STRATÉGIQUE, SÉLECTION DE PROJET ET ALLOCATION DES RESSOURCES DE R-D

Le processus d'investissement en R-D envisagé comme un cas particulier de décision relative aux dépenses d'équipement (Winkofsky *et al.*, 1980) suppose un grand nombre de décideurs au niveau de l'organisation à tous les échelons de la hiérarchie. Les propositions de nouvelles idées de projet naissent aux échelons inférieurs de l'organisation de R-D et sont alors soumises aux instances supérieures, alors que les plans stratégiques de ventilation des ressources sont réalisés aux échelons supérieurs transmis à tous les niveaux de la hiérarchie. Ce processus est, par nature, itératif et implique des critères multiples appliqués à la prise de décision. Parmi les critères les plus habituellement appliqués aux décisions d'investissement en R-D, on trouve les coûts de R-D, la probabilité de succès technique, les coûts de fabrication, le potentiel marchand, la rentabilité et la contribution aux objectifs de l'entreprise. Des objectifs implicites et explicites sont formulés aux échelons

supérieurs de la hiérarchie pour motiver l'évaluation de la contribution potentielle de chaque projet proposé, et sont alors communiqués aux échelons inférieurs pour faire part aux chercheurs d'une série d'objectifs opérationnels et des visées concernant la performance effective du projet. Des propositions de projet émanant des échelons inférieurs peuvent aussi influencer la définition d'objectifs stratégiques. Il est essentiel d'entretenir un lien étroit entre les activités de recherche dont les objectifs sont envisagés à long terme et le processus de planification stratégique si l'on veut préserver la productivité et le caractère innovateur du projet de R-D (Weil et Cangemi, 1983).

Les modèles pour la prise de décision dans les domaines de sélection de projet et d'allocation des ressources sont présentés d'après les catégories suivantes: modèles de comportement, modèles de mesure de valeur, modèles de théorie décisionnelle et d'analyse de risque, et modèles de portefeuille. Ces modèles se distinguent par leur façon d'intégrer l'incertitude du contexte de recherche et développement et par l'importance de la nature de leurs exigences d'information. Les systèmes experts seront envisagés pour chaque méthodologie décisionnelle et pour l'élaboration des stratégies de sélection de projet et d'allocation des ressources.

- Les modèles comportementaux font intervenir des processus de production et de hiérarchisation d'idées au sein d'un groupe structuré, comme le procédé par groupe nominal (voir Van de Ven et Delbecq, 1971; Irving et Conrath, 1988). Ce processus débute par une période de dix à vingt minutes consacrée à la production d'idées personnelles, suivie d'une mise en commun structurée des idées générées individuellement. Les idées individuelles sont mises en commun selon un procédé de présentations successives et aucune discussion ou évaluation n'intervient avant que toutes les idées n'aient été enregistrées. Après cela, il y a une période d'interactions spontanées avant le vote nominal qui vise à déterminer les priorités, à produire des normes d'évaluation ou un classement prioritaire des idées. Cette technique a été suggérée pour la sélection de projet, particulièrement en parallèle avec la méthodologie «Q-sort» (Souder, 1978; Liberatore et Titus, 1983) dans le cadre d'évaluations subjectives de projets par échange de vues au sein d'un groupe de directeurs R-D expérimentés. Les modèles comportementaux sont applicables là où l'expérience directoriale est la plus difficile à quantifier et englobe un large éventail de critères pour l'évaluation de diverses propositions de projet. Ces modèles peuvent être utilisés avec un système expert pour les stades du processus décisionnel nécessitant l'intégration subjective d'informations.

- Les techniques d'estimation de la valeur englobent des modèles servant à comparer et à évaluer des projets caractéristiques multiples. Checklist, Q-sort, profile, index et autres modèles similaires requièrent l'identification de critères d'évaluation et l'appréciation de chaque sujet proposé au moyen d'une norme qualitative ou quantitative pour chaque critère. La probabilité de réussite technique, les coûts de R-D, les besoins en matériel, les possibilités d'être breveté et les ventes potentielles sont des exemples de critères d'évaluation (Souder, 1978).

Ces techniques d'évaluation de la valeur sont en général plus appropriées à l'évaluation de projets dont les résultats sont incertains; divers critères sont utilisés. Parmi les sources d'incertitude, citons l'identification d'un ensemble commun de critères utiles aux comparaisons de projets, le rassemblement de données relatives à un classement prioritaire du projet selon des critères subjectifs, l'estimation des probabilités reflétant les résultats et coûts de projet. Un système expert contribue à choisir des critères d'évaluation de projet, à rassembler des données de projet relatives à la mise en place du modèle et à minimiser les influences engendrées par les estimations subjectives des mérites du projet.

- Les modèles de théorie décisionnelle et d'analyse de risque sont connus pour faciliter la comparaison entre projets sur base de probabilités d'une série de résultats possibles pour chaque projet. L'arbre décisionnel permet le calcul de valeurs espérées des résultats d'un projet à une série limite de points de chance, alors que les formulations d'analyse de risque prennent en compte une distribution continue des résultats possibles (Jackson, 1983a). La technique de simulation Monte Carlo est utilisée pour produire une approximation de la distribution de probabilités pour les résultats de projet. Ces méthodes d'analyse de processus décisionnel de R-D nécessitent certaines informations quant aux estimations de coûts pour chaque sous-tâche de projet, l'évaluation des profits à retirer de la bonne exécution du projet et les distributions de probabilités prévues concernant le choix de résultats possibles pour ce projet. Le point faible le plus important de ces méthodes est le peu de considération qu'elles accordent aux contraintes liées aux ressources. Leur point fort le plus appréciable est leur utilité pour clarifier les stratégies à la disposition du décideur R-D et les implications des orientations de risque différentes pour la sélection de projet (Souder, 1978).

Un système expert pour la mise en place de méthodes de théorie décisionnelle et d'analyse de risque dans le domaine d'évaluation de projet incorpore les compétences à rassembler des données pour

l'élaboration de fonctions de densité de probabilité reflétant un réseau d'activités de recherche, à pratiquer des simulations Monte Carlo sur des réseaux de sous-tâches de recherche et d'évaluer les résultats à l'aide des fonctions utilitaires des décideurs individuels (Miles, 1982; Jackson, 1983a). Des méthodes doivent être mises au point pour permettre la combinaison de fonctions d'utilité individuelles dans le cadre d'une analyse qui intègre les préférences de groupe.

- Des modèles de portefeuille pour la sélection d'un portefeuille de projet R-D sont conçus pour optimiser une fonction de valeur soumise à des contraintes financières spécifiques. Alors que les méthodes décrites ci-dessus permettent des comparaisons entre plusieurs projets établies d'après une évaluation individuelle des projets, les modèles de portefeuille évaluent un ensemble de projets. Le modèle de programmation linéaire de base comprend trois séries d'équations: la fonction objective à maximiser, les contraintes financières affectant la gestion du projet, et les limites de sélection du projet. Les modèles de programmation linéaire ont été adaptés à des problèmes spécifiques de sélection de projet, comme la variation dans le temps et la disponibilité des ressources, la variation des vitesses de réalisation du projet en fonction de différents niveaux de financement, et la flexibilité des contraintes financières (Jackson, 1983b). L'utilisation de ces modèles pour la sélection de projet comporte un certain nombre de points faibles:
 - ils nécessitent un grand nombre d'informations quantitatives, dont les bénéfices espérés du projet, les exigences financières du projet et la disponibilité des ressources;
 - l'hypothèse à la base du modèle de programmation linéaire est la certitude au niveau de la prise de décision R-D; cette hypothèse ne tient pas compte de l'organisation et des environnements de marché qui influencent tous les aspects du processus décisionnel R-D;
 - ces modèles ne tiennent généralement pas compte non plus des interdépendances possibles entre les différents projets de R-D, dont le partage des ressources et les résultats de projets interdépendants ou concurrents.

Le système expert offre la possibilité de faciliter la collecte et la manipulation d'un grand nombre de données nécessaires à la mise en œuvre et à la gestion de modèles de portefeuille. Le système expert peut également assister le décideur dans l'identification et la hiérarchisation de problèmes particuliers à aborder dans la perspective du choix d'une méthodologie appropriée à la prise de décision effective.

Les applications de la science de la gestion à l'exploitation de projets de R-D (Liberatore et Titus, 1983) semblent indiquer une utilisation intensive de méthodes financières pour la sélection de projets et une utilisation limitée de modèles de programmation mathématique et de modèles comportementaux comme les procédés par groupes structurés. Les activités de développement et de commercialisation sont évaluées avec plus de certitude en ce qui concerne les résultats de projet, alors que les physiciens évaluent des projets de recherche de base plus incertains à l'aide de techniques quantitatives. D'autres différences au niveau du choix directorial de sélection de projet découlent de la nécessité de prendre en compte une série de facteurs liés au projet, facteurs d'ordre technique, légal, marchand et bien sûr financier. Par conséquent, des organisations avec un degré important de recherche de contrats financés de l'extérieur ont tendance à utiliser des listes de contrôle et des modèles d'évaluation. Des organisations de matrices et de projets utilisent également des techniques plus subjectives par opposition aux structures organisationnelles fonctionnelles ou orientées vers le produit, pour lesquelles on utilise plus souvent des modèles d'analyse financière.

Le choix d'un modèle compatible avec les exigences et contraintes organisationnelles peut être représenté par la formulation d'un paradigme d'évaluation de modèle (Souder, 1972). En plus de l'analyse de compatibilité basée sur des critères spécifiques tels que la flexibilité pratique et les possibilités analytiques, il faut également tenir compte de la compatibilité des modèles avec les structures et procédés organisationnels existants. L'évaluation de la compatibilité des modèles implique donc des modèles universels et organisationnels spécifiques pondérés différemment en fonction du contexte de R-D. Le processus d'évaluation de modèles est accessible à la représentation experte dans le cadre d'une utilisation plus efficace des outils analytiques disponibles.

Les progrès de la technologie en matière de systèmes experts utilisés pour la planification et l'allocation des ressources en R-D en sont toujours à leurs phases initiales (Séror, 1990). Le prototype INSTRAT, mis au point à la Goodyear Aerospace Corporation en collaboration avec l'Université d'État de Kent (Madey, Wolfe et Potter, 1987) représente un exemple très spécialisé. Ce système établi d'après des règles est connu pour assister les directeurs responsables des décisions d'investissement en matière de R-D, de l'ingénierie et de la production de contrats conclus initialement avec des agences gouvernementales ou des entrepreneurs. Un autre exemple: un système mis au point à Northeastern University destiné à assister le directeur dans sa décision de continuer ou d'arrêter un projet de R-D au stade de développement (Balachandra, 1988). Les principes de ce système évaluent les potentialités technologiques, commerciales et les débouchés possibles du projet étudié, ainsi que l'assistance directoriale et technique du projet au sein de la firme.

Nous avons exposé dans cette section les méthodologies analytiques et les stratégies intégrées pour la sélection de projet et l'allocation de ressources en matière de R-D à la lumière des possibilités qu'offrent les systèmes experts. Nous abordons à présent l'aspect d'ordonnancement et de contrôle de projets de R-D.

ORDONNANCEMENT ET CONTRÔLE

Le contrôle d'un projet de R-D implique la définition de plans d'exploitation, la mise au point de normes de performance appropriées au niveau du coût, de l'ordonnancement et des domaines techniques et un système informatisé permettant de superviser l'état d'avancement du projet, de comparer les progrès réalisés avec les normes de performance, d'évaluer les déviations par rapport aux planifications initiales, ce système permettant également un retour d'informations relatives au maintien du projet dans la direction prévue. Les éléments essentiels d'un système de contrôle défini de cette manière sont: (a) un objectif ou but que ce système doit atteindre, (b) des données d'entrée comprenant informations, matériel ou énergie, (c) des données de sortie résultant de la transformation des données d'entrée, (d) une séquence d'actions définissant le processus de transformation, (e) les ressources requises pour le processus de transformation, (f) des circuits à réaction informatisés permettant les adaptations nécessaires à la réalisation des objectifs du système et (g) un environnement organisationnel qui favorise la communication dans le cadre du contrôle (Cleland et King, 1983).

On peut définir un projet comme un ensemble d'activités liées les unes aux autres qui doivent être organisées d'après une structure d'interdépendance pour réaliser un objectif spécifique (Dean et Chaudhuri, 1980). Il existe un éventail assez large de modèles disponibles pour assister la prise de décision au niveau de l'ordonnancement du projet. Les observations suivantes résument les modèles analytiques les plus importants d'ordonnancement et de contrôle d'activités de projet.

- Le modèle WBS (*work breakdown structure*) est un diagramme représentant les interdépendances qui existent entre les tâches définissant le projet. Il illustre l'organisation des activités de projet et la façon dont celles-ci convergent vers les buts et objectifs du projet. Ce modèle sert de support à l'élaboration d'une conception organisationnelle appropriée aux activités de projet et à une définition des fonctions de contrôle et d'ordonnancement de projet.
- Le diagramme de Gantt représente tous les éléments des activités de projet sur une échelle de temps en termes de jours, semaines ou mois. La préparation de ce modèle, très utilisé, de planification de projet implique d'abord l'analyse des éléments du projet et la détermination

d'une méthodologie appropriée à la réalisation de celui-ci. Le temps nécessaire à la bonne exécution de chaque élément de projet est évalué subjectivement en concertation avec le personnel responsable de chaque tâche et les éléments de projets sont répertoriés de manière à signaler les activités qui peuvent être menées simultanément, ainsi que l'agencement séquentiel des tâches interdépendantes. On compare alors l'état d'avancement du projet avec le temps prévu pour les tâches. Même si cette approche propose une méthode graphique rapide pour identifier au sein des activités de projet les différents domaines où des problèmes se posent, elle n'offre aucune possibilité satisfaisante d'évaluer les conséquences financières que peuvent avoir les écarts par rapport au programme et elle ne permet guère d'établir des scénarios alternatifs permettant d'assurer l'exécution du projet.

- Des plans de réseau représentent de manière explicite l'interdépendance séquentielle des activités de projet qui nécessitent l'organisation des ressources et des événements qui se produisent à des moments spécifiques.
 - La méthode du chemin critique suppose de connaître la durée de chaque activité de projet qui détermine la longueur de l'arc correspondant dans le réseau de projet. Le chemin le plus long du réseau de projet est assimilé au chemin critique et englobe les activités et événements qui peuvent influencer la durée du projet dans son entièreté. On détermine également pour chaque activité de réseau une période creuse, c'est-à-dire la période de temps pendant laquelle une activité peut être retardée sans que cela ait une incidence sur la durée du projet. La méthode du chemin critique permet la formulation de chemins alternatifs permettant de réduire la durée du projet, mais elle comporte aussi de sérieuses faiblesses. Les hypothèses de certitude et de linéarité relatives aux relations de temps et de coût qui caractérisent les activités de projet ne sont pas réalistes dans le cadre de projets complexes. Le modèle n'est pas conçu pour incorporer des retours d'informations concernant l'état d'avancement des activités de projet, informations qui permettraient l'ajustement de la formulation du chemin critique. L'estimation de la durée des activités de projet subit l'influence de facteurs subjectifs bien que l'on puisse, dans une certaine mesure, contrôler ces écarts par les procédés de groupe structuré qui permettent d'obtenir les informations requises. Enfin, pour conclure, la méthode du chemin critique n'incorpore pas les probabilités d'exécution dans les estimations de la durée des activités et il en résulte un besoin d'identifier les chemins quasi critiques dans le réseau (Dean et Chaudhuri, 1980; Patterson, 1984).

- La méthode PERT (technique d'évaluation et de révision de programme) est le modèle probabiliste d'activités de projet basé sur la méthode du chemin critique. Contrairement à celle-ci, la technique PERT est connue pour incorporer les variations éventuelles des durées des activités de projet. On peut associer aux méthodes PERT les hypothèses suivantes: les durées d'activité se rapprochent de la distribution bêta, les activités de projet sont indépendantes, les chemins critiques sont calculés au moyen de durées d'activité moyennes et le nombre d'activités du chemin critique est assez élevé pour que la distribution de probabilités pour la durée de projet se rapproche de la distribution normale (Dean et Chaudhuri, 1980). On exprime la variabilité des résultats potentiels des activités de projet par des estimations en trois temps réalisées par le personnel responsable de chaque activité. Les périodes pessimistes et, plus probablement, optimistes sont établies d'après le jugement qu'un personnel expérimenté émet sur des tâches de projet. Même si la méthode PERT a l'avantage de tenir compte de la variabilité des périodes d'exécution de projet, elle comporte certains aspects discutables et certains points faibles (Cleland et King, 1983). Les estimations en trois temps subissent l'influence de jugements subjectifs. Les hypothèses de la méthode PERT aboutissent à des périodes évaluées optimistes et la validité du temps calculé par la technique PERT doit encore être confirmée par des applications. Les critiques émises à l'égard de la distribution supposée à la base des périodes d'activités individuelles peuvent être compensées par la simulation de réseaux PERT avec distributions alternatives (Dean et Chaudhuri, 1980; Cleland et King, 1983).
- La méthode GERT (technique graphique d'évaluation et de révision) est établie sur un réseau généralisé d'activités de projet qui tient compte d'une identification des réalités incertaines de projets de R-D de manière plus systématique que le schéma plus rigide de la méthode PERT. La méthode GERT impose au réseau une structure stochastique dans laquelle certaines activités ne peuvent pas être réalisées et où un événement ne peut avoir lieu que quand une activité (parmi d'autres) est terminée. Des activités qui dépendent d'un comportement sélectif peuvent être spécifiées et il peut y avoir un certain nombre d'états terminaux pour le projet.

Les modèles résumés ci-dessus se différencient au niveau de leurs exigences d'information et de leurs possibilités d'établir des structures de réseau des activités de projet, des contraintes financières et des incertitudes liées aux contingences des activités. Bien que les projets de réseau offrent davantage de possibilités d'intégrer des informations complexes et les incer-

titudes inhérentes, ils nécessitent des informations plus complètes et une plus grande variété de jugements subjectifs basés sur l'expérience que le diagramme de Gantt, plus simple, ou le modèle WBS (orienté vers la conception).

Les pratiques directoriales actuelles témoignent d'un usage sélectif des modèles de réseau, ainsi que d'une insatisfaction à l'égard des méthodologies disponibles pour l'ordonnancement et le contrôle de projet, la cause étant leur médiocrité dans des conditions d'incertitude de tâches (Liberatore et Titus, 1983). Un certain nombre de facteurs paraissent critiques dans le choix que fait le directeur de R-D au niveau des techniques spécialisées pour le contrôle et l'ordonnancement de projet. Les directeurs de R-D qui occupent la même position depuis plus de six ans se fient davantage aux relations entre personnes en ce qui concerne le contrôle des activités de projet. Les personnes interrogées au sein des entreprises de R-D utilisent moins les diagrammes de Gantt et ceux de réseaux de projets que celles interrogées au sein de services divisionnaires en raison d'une plus grande insistance sur des activités de recherche moins structurées et avec des objectifs à plus long terme. Les activités caractérisées par un degré plus important d'incertitude sont plus difficiles à mesurer, évaluer et contrôler. La mise au point de nombreux produits ou procédés nécessite des méthodes quantitatives moins rigoureuses pour l'ordonnancement des activités de projet que l'amélioration de produits ou procédés existants. Les applications de modèles pour l'ordonnancement et le contrôle reflètent une certaine incertitude au niveau des recherches associées au développement de nouveaux produits ou procédés et le manque d'information permettant d'évaluer la durée des activités de projet.

La dépendance d'un modèle analytique est liée à la quantité et à la qualité des informations relatives à la durée des activités de projet et les structures d'interdépendances entre les différentes activités de projet. Là où il existe peu d'informations disponibles au niveau de la durée d'activités et des interdépendances, les directeurs de R-D estiment les méthodologies quantitatives inaptes à prendre en compte le problème de l'incertitude qui s'ensuit. L'utilisation de certains de ces modèles est limitée par le fait même de leur complexité et donc de leur inaccessibilité aux directeurs de R-D. La technologie des systèmes experts rend ces modèles plus accessibles et nécessaires aux directeurs en facilitant le choix de modèles appropriés et l'élaboration de stratégies pour leur maniement. La technologie des systèmes experts a été appliquée au développement de la planification par intelligence artificielle basé sur la technique PERT dans l'élaboration de plans de projet. Les planificateurs IA sont connus pour assumer le rôle directorial qui consiste à élaborer et analyser des réseaux PERT à partir d'une série d'activités avec des durées spécifiques et des informations complètes sur les contraintes de priorités entre les activités de projet. D'après Bell (1989), dans certaines

entreprises, l'organisation hiérarchique de sous-projets résultant d'un perfectionnement de réseau imite les hiérarchies organisationnelles au sein desquelles ils sont mis au point. On identifie donc des sous-projets avec des rôles directoriaux réels et on facilite le niveau de communication entre les directeurs, ce qui est nécessaire pour élaborer le projet. Un planificateur IA peut être utile au directeur de projet pour (a) les applications directes potentielles, (b) la sélection de certaines possibilités du planificateur IA pour des programmes basés sur la connaissance et (c) le développement de possibilités de planification stratégique plus importantes (Bell, 1989). Parmi les versions plus anciennes des applications du planificateur IA, citons NOAH (Sacerdoti, 1977), NONLIN (Tate, 1977), et DEVISER (Vere, 1983). Wilkins (1984) et Miller *et al.* (1985) présentent également des applications du planificateur IA.

CALLISTO, mis au point à l'initiative de la Digital Equipment Corporation et destiné à des ensembles de projets orientés vers la conception d'un nouvel ordinateur, est un autre exemple recouvrant tous les aspects d'un système intelligent de gestion de projet. Parmi les caractéristiques principales de ces programmes de développement, citons un grand nombre d'activités (plus de 10 000 dans certains cas), l'implication d'une variété de services organisationnels aux cultures différentes, aux exigences importantes au niveau de la coopération entre services et un niveau élevé de complexité technologique nécessitant de fréquents ajustements de plan (Sathi *et al.*, 1988).

Le prototype CALLISTO, au départ, était composé d'architectures de connaissances et d'interfaces. L'architecture de connaissances organisait les connaissances de projets en couches successives, de concepts généraux (couche sémantique) en concepts, mots et expressions spécifiques à un domaine particulier (couche spécifique). L'architecture d'interfaces, un menu hiérarchique, offrait les possibilités de créer des projets de manière interactive, d'examiner les progrès réels du projet et d'analyser des scénarios de progrès simulés.

L'étape suivante fut la mise au point du système Mini-CALLISTO destiné à faciliter les tâches réparties de résolution de problèmes au sein d'un réseau d'unités organisationnelles. Les Mini-CALLISTO sont interconnectés et ont la possibilité de communiquer par messages regroupés en protocoles décrivant comment signaler précisions ou changements relatifs au projet. Ceux qui ont participé à l'élaboration du système Mini-CALLISTO estiment que l'explication de la dynamique de projet constitue un domaine important des recherches futures, y compris l'évaluation de changements qualitatifs et quantitatifs.

Nous examinerons dans la section suivante le processus créatif d'innovation dans le groupe de recherche associé au projet.

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET RECHERCHE DE PROJET R-D

Le troisième processus directorial à envisager dans le cadre d'activités effectives de recherche et de développement est la coordination du groupe de projet pour l'innovation technologique. La littérature concernant les modèles de communication pour la recherche et le développement témoigne de l'importance de la relation qui existe entre les résultats de performance du projet, entre autres les aspects d'innovation, de satisfaction au travail et les dimensions de communication au sein même du groupe de projet, ainsi que celles qui existent entre le groupe et l'extérieur. Parmi les facteurs influençant les modèles de communication, citons la nature de la tâche de recherche, l'incertitude liée à cette tâche et l'interdépendance du groupe de projet avec d'autres groupes de projet (Whitley et Frost, 1973; Katz et Tushman, 1979; Tushman, 1977; Tushman et Katz, 1980; Farris, 1972; Thamhain et Gemmill, 1974).

Tout porte à croire que, dans les tâches de recherche, tout retour d'informations effectif émane de collègues dans l'organisation de R-D, alors que, dans les services techniques et de développement, les informations reviennent d'autres domaines fonctionnels de l'entreprise, comme, par exemple, des services de commercialisation et de fabrication.

Le personnel technique obtient des informations extérieures par l'intermédiaire d'étoiles de communication qui maintiennent les liaisons avec d'autres domaines de l'organisation et aussi avec des sources d'informations étrangères à l'organisation (Tushman, 1977). Cette liaison implique un processus de communication intersectoriel en deux phases pour le développement et les services techniques. Les étoiles de communication dans les activités de recherche de base et appliquée se concentrent directement sur les sources d'informations extérieures dans le domaine professionnel, comme les universités et les associations professionnelles, alors que les étoiles dans les secteurs de service technique se concentrent sur des sources d'informations relatives aux produits et procédés nouveaux dans le domaine opérationnel, comme les fournisseurs, distributeurs et clients. Le nombre de rôles intersectoriels dans les projets de R-D est lié aux exigences du projet au niveau du traitement de l'information.

La notion de direction de recherche peut se définir comme une série de rôles parallèles avec un contenu de communication spécifié, joués par tous ceux qui collaborent aux groupes scientifiques, y compris le superviseur, les membres du groupe et les contacts extérieurs au groupe (Farris, 1972). Ces rôles-collègues sont intégrés dans un processus de résolution de problème en trois phases: la suggestion, la proposition, la solution. La phase de suggestion est simplifiée par les rôles-collègues chargés d'apporter des idées originales,

des informations techniques et administratives. La suggestion évolue en proposition grâce à l'assistance apportée à l'examen approfondi du problème et à l'évaluation technique. La proposition est alors mise en pratique dans l'organisation avec l'aide des rôles instrumentaux chargés d'assurer une écoute favorable et un soutien administratif. Le superviseur effectif favorise l'innovation par une contribution critique au travail d'équipe, encourageant les membres du groupe à s'échanger des informations techniques et à s'entraider pour examiner en profondeur les problèmes techniques. En amenant des idées originales qui proviennent de sources extérieures, et en jouant un rôle de liaison avec le reste de l'organisation, le superviseur apporte des informations extérieures et ainsi les membres du groupe peuvent compter sur une collaboration mutuelle pour résoudre les problèmes techniques.

Des études de la communication dans des projets de recherche et de développement ont révélé l'importance de modèles de communication effectifs et de rôles pour faciliter la résolution de problèmes dans le cadre complet des activités de R-D. Le degré d'incertitude de tâche est influencé par la fréquence des changements au niveau de l'environnement organisationnel, ainsi que par le degré d'interdépendance du groupe de projet de R-D par rapport à d'autres groupes de projet et d'autres organisations de R-D. Les tâches de recherche de base et, dans une certaine mesure, de recherche appliquée, sont par nature plus incertaines et par définition plus universelles. Pour ces tâches, les membres de projets effectifs communiquent directement pour obtenir les informations nécessaires, franchissant les confins de tâches et d'organisation. Contrairement à ce schéma, dans les activités de développement et de service technique définies localement, les membres de projet ont tendance à communiquer avec les sources d'informations extérieures selon un processus en deux phases dans lequel le rôle de «gardien» au sein du groupe est d'une importance capitale. Le rôle de gardien consiste à traiter les informations provenant de l'extérieur de l'organisation et d'autres secteurs, comme le marketing et l'exploitation, et transforme les informations de façon à les intégrer utilement au sein du groupe. La conception et la direction organisationnelle est particulièrement cruciale puisqu'il est nécessaire, pour obtenir des résultats de projet effectifs, de sauvegarder l'accessibilité des informations relatives aux objectifs émanant des sphères supérieures de l'organisation et des informations techniques internes provenant des échelons inférieurs de la hiérarchie (Séror, 1989).

De même que pour les autres processus décisionnels envisagés, un système expert simplifie la répartition d'informations pertinentes provenant de tous les domaines de l'organisation par la mise au point d'un langage commun permettant de réduire les obstacles à la communication entre services et les conflits existant à différents niveaux de la hiérarchie. D'après Farris (1972), les rôles qui consistent à apporter des informations techniques et

organisationnelles sont utiles pour amener des suggestions en R-D. Le système expert peut assister la mémoire organisationnelle et le choix de considérables sources de données extérieures, ainsi que les informations relatives aux objectifs émanant des sphères supérieures de la hiérarchie et les informations techniques internes émanant des échelons inférieurs (Huseman et Miles, 1988; Huber, 1990). Même si la représentation cognitive par système expert assiste le processus créatif de recherche, il est important de souligner que le système expert ne remplace en aucun cas les experts et ne réduit en aucun cas les exigences d'innovation au niveau de la communication.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'utilisation de systèmes experts dans le cadre d'innovations effectives en matière de R-D implique trois processus décisionnels: (a) planification de la sélection de projet et allocation des ressources, (b) ordonnancement et supervision du projet et (c) innovations technologiques et étude de projet (tableau 1). Le point de contrôle fondamental pour chacun de ces processus décisionnels est défini respectivement aux niveaux de l'adoption d'une politique, de l'exploitation et du groupe de recherche de projet.

Bien que les processus décisionnels aient été ordonnés séquentiellement, ils contribuent à un processus organisationnel plus large pour la gestion de R-D qui est itérative quant aux niveaux organisationnels ainsi qu'aux phases de planification, d'allocation de ressources, d'ordonnancement, de contrôle et de recherche des activités de projet.

Les activités de R-D se différencient sensiblement au niveau de la certitude des informations disponibles pour la prise de décision. Au cours de la phase de planification de la sélection de projet et d'allocation de ressources, l'incertitude de jugement est le résultat d'informations incomplètes concernant l'aboutissement du projet et de tendances subjectives et organisationnelles au niveau de la mise au point de critères d'évaluation de projet.

L'efficacité des modèles disponibles pour la supervision et l'ordonnancement du projet est sensiblement réduite par leur inaptitude à rendre compte de l'incertitude inhérente aux activités de projet. Au niveau de la communication dans les domaines de résolution de problèmes et d'innovation, la source d'incertitude est la nature même de la tâche de recherche et le degré d'interdépendance avec les autres tâches organisationnelles. Pour chaque type de processus décisionnel, un système expert peut contribuer à gérer cette incertitude en favorisant l'accès et l'utilisation appropriée de données complexes, le choix et l'utilisation de modèles quantitatifs appropriés à la prise de décision dans un contexte particulier de R-D, la création

d'un langage commun permettant de modérer les conflits, ainsi que la gestion des comportements organisationnels complexes et des exigences d'innovation en matière de communication.

Le tableau 4 représente l'application intégrée des systèmes experts à la gestion et au contrôle de R-D. La représentation de la connaissance par système expert ou cybernétique est appliquée au diagnostic de problème et à la formulation de stratégies de réponse. Là où des modèles bien spécifiés, ou algorithmes, constituent une base pour la prise de décision, la représentation experte est adaptée au choix et à la gestion de modèles tels que le modèle de portefeuille, appliqué à la sélection de projet ou le plan de réseau pour l'ordonnancement et le contrôle. De tels modèles décisionnels sont hautement spécialisés et ont un champ d'application restreint. Dans les modes analytiques de diagnostic de problème et de formulation de stratégies de réponse, on arrive plus facilement à un consensus et on implique moins d'experts. La représentation cognitive experte est également plus appropriée à une conception organisationnelle «phase-dominante» de R-D, avec gestion de l'innovation en fonctions spécialisées, comme le marketing et la fabrication. Dans des contextes décisionnels comprenant ces caractéristiques, la connaissance en soi, le processus de connaissance et le connaissant ont tendance à être relativement stables et n'ont que peu d'incidence sur la gestion et le contrôle de R-D.

TABLEAU 4

Le système expert intégré de R-D

MODE ANALYTIQUE

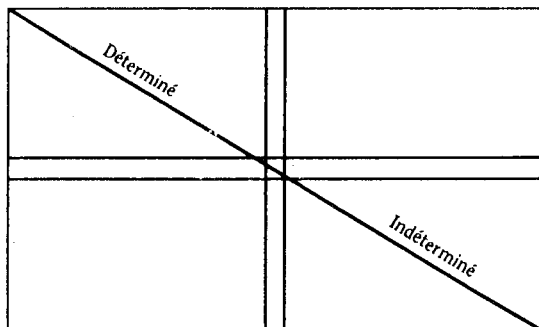
- Identification de diagnostic
- Décision individuelle
- Champ d'application étroit

- Stratégie de réponse
- Décision distribuée
- Champ d'application large

REPRÉSENTATION DE LA CONNAISSANCE
ET GESTION DE MODÈLES

- Expert
- Intramodèle
- Phase-dominante

- Cybernétique
- Intermodèle
- Projet-dominant



La représentation cognitive cybernétique, par contre, est plus appropriée là où l'on tend à une gestion «intermodèle» pour le diagnostic de problème ou la formulation d'une stratégie de réponse, et lorsqu'un grand nombre d'experts sont impliqués dans un processus décisionnel réparti ayant de fortes exigences de coopération. Cette forme de représentation cognitive est aussi plus utile pour gérer la conception organisationnelle «projet-dominant» là où on exige une coopération intensive entre les activités basées sur différents modèles, comme la fabrication et la commercialisation. Dans les domaines décisionnels caractérisés ci-dessus, il est primordial de résoudre conflits et ambiguïtés résultant de perspectives multiples. Le tableau 4 représente également en bref de quelle manière les représentations experte et cybernétique s'appliquent à toute la gamme de domaines décisionnels de R-D qui varient en fonction de leur degré d'incertitude informationnelle. Nous proposons les conclusions et programmes de recherche suivants en matière de systèmes experts et de gestion et contrôle de R-D:

- le système expert intervient dans la sélection et l'intégration d'outils et de modèles appropriés. Par ce système, un format d'interaction avec les directeurs de R-D assure l'entrée et le suivi des données nécessaires à la gestion du modèle et au contrôle de R-D. Le format d'interaction contribue à minimiser les tendances (subjectives) qui s'introduisent dans le compte rendu humain de l'état des données et dans l'estimation, humaine également, des relations entre variables; il assure également l'uniformité des données recueillies dans le cadre d'une perspective ou d'un modèle particulier. Par des procédures systématiques de collecte de données, les questions posées par différents experts et utilisateurs sont formulées et présentées de la même manière. Là où la communication et le facteur humain sont d'une importance capitale, le système expert est potentiellement utile à l'application de modèles de comportement en étant capable de recueillir et rassembler des données pour le contrôle longitudinal des processus de comportement de groupe puisqu'ils se rapportent à des modèles décisionnels spécifiés (Irving et Conrath, 1988; Kraemer et King, 1988);
- l'utilisation de systèmes intégrant la représentation cognitive experte et cybernétique assiste la gestion à modèles et niveaux multiples du contexte dynamique de R-D. L'élément de représentation cybernétique facilite le choix de modèles et l'élaboration de stratégies de réponses complexes compatibles avec la conception organisationnelle de R-D et les perspectives hiérarchiques au niveau des activités de projet. Le méta-modèle avec son élément de représentation cybernétique contribue également à résoudre conflits et ambiguïtés qui existent à tous les niveaux du système en créant un langage commun,

compréhensible pour tous les secteurs d'activité de R-D et en rendant les données émanant d'autres niveaux décisionnels accessibles au contrôle de chaque processus décisionnel directorial (tableau 1);

- la mise au point et l'utilisation d'un système expert produit des données exploitables dans le cadre de l'étude du processus innovateur de R-D et de l'interaction entre l'homme et l'ordinateur. Le décideur humain et le moniteur informatique se confirment l'un l'autre de deux façons (Schwartz *et al.*, 1986). Tout d'abord, lorsqu'on spécifie un modèle à priori pour la mise en œuvre d'un système, le décideur humain juge la pertinence des données à introduire et l'ordinateur contrôle l'entrée des données, vérifiant qu'elles sont complètes. Ensuite, pour des tâches complexes nécessitant l'intégration de théorie aux données, le SE peut servir à reproduire l'intégration humaine, confirmant ainsi le modèle mental du décideur humain. L'expérimentation continue contribue au perfectionnement du SE (Sathi *et al.*, 1988) et le processus d'apprentissage qui sous-tend le développement longitudinal du système permet souvent une gestion plus efficace et une meilleure performance de tâches mieux comprises (Leonard-Barton et Sviokla, 1988). Quant à l'interaction entre l'homme et l'ordinateur, le rôle critique du décideur humain doit être reconnu (Sutherland, 1986; Schwartz *et al.*, 1986). Il est possible de contrôler le facteur humain et les exigences comportementales inhérentes à la prise de décision de R-D par des entretiens avec le personnel qui permettent d'établir une définition des tâches et des stratégies d'acquisition de la connaissance, par l'observation de réunions où l'on établit le bilan de l'état de projet, ce qui permet de comprendre les stratégies de résolution de problème du groupe, par des échanges de vues avec les directeurs de projet portant sur la gestion des activités, ce qui permet d'évaluer les outils décisionnels disponibles compte tenu des besoins exprimés et par des discussions, des démonstrations de concepts et des présentations favorables à la production d'idées (Sathi *et al.*, 1988). Au cours des expérimentations dans le cadre de la mise au point de systèmes, les utilisateurs devraient être considérés comme des coréalisateur au même titre que les experts et les ingénieurs (Leonard-Barton, 1987);
- la conception de structures et de processus organisationnels de R-D constitue le contexte et le support organisationnel pour la mise en œuvre d'un système expert effectif (Van de Ven, 1986; Daft et Lengel, 1986). Il y a une association étroite entre l'innovation technologique et l'innovation dans les domaines des dispositions institutionnelles et organisationnelles qui constituent la base d'une mise au point par des scientifiques de la gestion de systèmes décisionnels performants

(Burkhardt et Brass, 1990). Des contingences d'incertitude et d'ambiguïté au niveau des informations déterminent la relation entre la tâche organisationnelle et sa conception structurelle (Daft et Lengel, 1986). L'incertitude, définie comme l'absence d'informations relatives à des dimensions de problème connues, nécessite la collecte et l'analyse de données objectives pour répondre à des questions spécifiques ou confirmer des hypothèses établies a priori. L'ambiguïté, définie comme l'existence d'interprétations multiples et contradictoires d'une réalité organisationnelle, nécessite une interprétation partagée et un langage commun pour la résolution de problèmes et la résolution de conflits. Lorsque l'incertitude informationnelle est importante, on formule des hypothèses de règles et de structures formelles destinées à être effectives, alors que, pour réduire l'incertitude, des échanges de vues en face à face, des réunions de groupe, et d'autres moyens de communication personnelle contribuent à la mise au point d'une interprétation convergente de la réalité organisationnelle. Les considérations d'ordre organisationnel sont cruciales pour le développement effectif d'un SE. Des hypothèses concernant le traitement de l'information (Daft et Lengel, 1986) et la conception de l'interface projet/organisation (Baker et Sweeney, 1978) nécessitent des recherches complémentaires d'innovation en matière de conception organisationnelle pour assister les SE dans la recherche et le développement.

On a déjà mentionné l'aptitude d'un SE à mettre au point un relevé des expériences et données d'organisation soumises à l'analyse et à la modélisation de processus de communication et de prise de décision. Pour terminer, il reste à mentionner un dernier domaine qui constitue un intérêt considérable pour des recherches ultérieures, soit la mise au point de modèles généralisables de processus organisationnels associés à la recherche et au développement (De Jong *et al.*, 1988) et l'expérimentation à l'aide de tels modèles en utilisant des méthodes de simulation (Masuch et Lapotin, 1989; Simon, 1981). Certaines recherches se sont axées sur la budgétisation et l'allocation des ressources de R-D dans les organisations hiérarchiques (Baker *et al.*, 1976; Winkofsky *et al.*, 1981); d'autres aspects de la prise de décision de R-D sont encore à explorer. Des méthodes de simulation permettraient de comparer et d'évaluer des stratégies intégrées de prise de décision de R-D à l'aide de scénarios introduisant des contingences internes et externes inhérentes au projet (Sathi *et al.*, 1988). Les SE constituent une opportunité considérable, par le biais des méthodologies de simulation, d'étudier les processus complexes de communication et de prise de décision dans le cadre de l'innovation technologique et de l'élaboration de modèles généralisables de gestion de projet.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAKER, N., SOUDER, W., SHUMWAY, C., MAHER, P. et RUBENSTEIN, A. (1976), «A Budget Allocation Model for Large Hierarchical R&D Organizations», dans *Management Science*, n° 23, p. 59-70.
- BAKER, N. et SWEENEY, D. (1978), «Toward a Conceptual Framework of the Process of Organized Technological Innovation within the Firm», dans *Research Policy*, n° 7, p. 150-174.
- BALACHANDRA, R. (1988), «An Expert System for R&D Projects», dans TURBAN, E. et WATKINS, P. (1988), *Applied Expert Systems*, Amsterdam, p. 107-120.
- BELL, C. (1989), «Maintaining Project Networks in Automated Artificial Intelligence Planning», dans *Management Science*, n° 35-10, p. 1192-1214.
- BURKHARDT, M. et BRASS, D. (1990), «Changing Patterns or Patterns of Change: The Effect of a Change in Technology on Social Network Structure and Power», dans *Administrative Science Quarterly*, n° 35-1, p. 104-127.
- CLELAND, D. et KING, W. (1983), *Systems Analysis and Project Management*, New York, McGraw-Hill.
- COURTNEY, J., PARADICE, D. et ATA MOHAMMED, N. (1987), «A Knowledge Based DSS for Managerial Problem Diagnosis», dans *Decision Sciences*, n° 18-3, p. 373-399.
- DAFT, R. et LENGEL, R. (1986), «Organizational Information Requirements, Media Richness and Structural Design», dans *Management Science*, n° 32-5, p. 554-571.
- DEAN, B. et CHAUDHURI, A. (1980), «Project Scheduling: A Critical Review», dans DEAN, B. et GOLDHAR, J. (1980), *Management of Research and Innovation*, Amsterdam, p. 215-234.
- DE JONG, T., DE HOOG, R. et SCHREIBER, G. (1988), «Knowledge Acquisition for an Integrated Project Management System», dans *Information Processing and Management*, n° 24-6, p. 681-691.
- ELAM, J. et KONSYNSKI, B. (1987), «Using Artificial Intelligence Techniques to Enhance the Capabilities of Model Management Systems», dans *Decision Sciences*, n° 18, p. 487-502.
- FARRIS, G. (1972), «The Effect of Individual Roles on Performance in Innovative Groups», dans *R&D Management*, n° 3, p. 23-28.
- GALOTTI, K. (1989), «Approaches to Studying Formal and Everyday Reasoning», dans *Psychological Bulletin*, n° 105-3, p. 331-351.
- GREGORY, D. (1986), «Delimiting Expert Systems», dans *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, n° 16-6, p. 834-843.
- HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D. et LENAT, D. (1983), *Building Expert Systems*, Londres, Addison-Wesley.

- HENDERSON, J. (1987), «Finding Synergy between Decision Support Systems and Expert Systems Research», dans *Decision Sciences*, n° 18-3, p. 333-349.
- HUBER, G. (1990), «A Theory of the Effects of Advanced Information Technologies on Organizational Design, Intelligence and Decision Making», dans *Academy of Management Review*, n° 15-1, p. 47-71.
- HUSEMAN, R. et MILES, E. (1988), «Organizational Communication in the Information Age: Implications of Computer-Based Systems», dans *Journal of Management*, n° 14-2, p. 181-204.
- IRVING, R. et CONRATH, D. (1988), «The Social Context of Multiperson, Multiattribute Decisionmaking», dans *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, n° 18-3, p. 348-357.
- JACKSON, B. (1983a), «Decision Methods for Evaluating R&D Projects», dans *Research Management*, juillet-août, p. 16-22.
- JACKSON, B. (1983b), «Decision Methods for Selecting a Portfolio of R&D Projects», dans *Research Management*, septembre-octobre, p. 21-26.
- KATZ, R. et TUSHMAN, M. (1979), «Communication Patterns, Project Performance and Task Characteristics: An Empirical Evaluation and Integration in an R&D Setting», dans *Organizational Behavior and Human Performance*, n° 23, p. 139-162.
- KRAEMER, K. et KING, J. (1988), «Computer-Based Systems for Cooperative Work and Group Decision Making», dans *ACM Computing Surveys*, n° 20-2, p. 115-146.
- LEONARD-BARTON, D. (1987), «The Case for Integrative Innovation», dans *Sloan Management Review*, n° 29-1, p. 7-19.
- LEONARD-BARTON, D. et SVIOKLA, J. (1988), «Putting Expert Systems to Work», dans *Harvard Business Review*, n° 66-2, p. 91-98.
- LIBERATORE, M. et TITUS, G. (1983), «The Practice of Management Science in R&D Project Management», dans *Management Science*, n° 29, p. 962-974.
- MADEY, G., WOLFE, M. et POTTER, J. (1987), «Development of an Expert Investment Strategy System for Aerospace RD&E and Production Contract Bidding», dans *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-34, novembre, p. 252-258.
- MASUCH, M. et LAPOTIN, P. (1989), «Beyond Garbage Cans: An AI Model of Organizational Choice», dans *Administrative Science Quarterly*, n° 34-1, p. 38-67.
- MILES, R. (1982), «Introduction to SIM RAND», DCE/JPL 1012-68, Pasadena, California, Jet Propulsion Laboratory.
- MILLER, D., FIRBY, R. et DEAN, T. (1985), «Deadlines, Travel Time and Robot Problem Solving», *Actes IJCAI-85*, p. 1052-1054.
- OW, P. et SMITH, S. (1987), «Two Design Principles for Knowledge-Based Systems», dans *Decision Sciences*, n° 18-3, p. 430-447.

- PATTERSON, J. (1984), «A Comparison of Exact Approaches for Solving the Multiple Constrained Resource Project Scheduling Problem», dans *Management Science*, n° 30, p. 854-867.
- SABHERWAL, R. et GROVER, V. (1989), «Computer Support for Strategic Decision-Making Processes: Review and Analysis», dans *Decision Sciences*, n° 20-1, p. 54-76.
- SACERDOTI, E. (1977), *A Structure for Plans and Behavior*, New York, Elsevier.
- SAGE, A. and ROUSE, W. (1986), «Aiding the Human Decision-Maker through the Knowledge-Based Sciences», dans *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, n° 16-4, p. 511-521.
- SATHI, A., MORTON, T. et ROTH, S. (1988), «Callisto: An Intelligent Project Management System», dans GREIF, I. (1988), *Computer Supported Cooperative Work*, San Mateo, Californie, Morgan-Kaufmann, p. 269-309.
- SCHWARTZ, J., KULLBACK, J. et SHRIER, S. (1986), «A Framework for Task Cooperation within Systems Containing Intelligent Components», dans *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, n° 16-6, p. 788-793.
- SÉROR, A. (1989), «A Study of Individual Boundary-Spanning Communication Patterns in a Research and Development Setting», dans *Engineering Management International*, p. 279-290.
- SÉROR, A. (1990), «Decision-Making for Innovation: Management of Research and Development», dans BANNING, R. (1990), *Foundations of Expert Systems for Management*, Cologne, p. 223-264.
- SIMON, H. (1981), *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, The MIT Press.
- SOUDER, W. (1972), «Comparative Analysis of R&D Investment Models», dans *IEEE Transactions*, mars, p. 57-64.
- SOUDER, W. (1978), «A System for Using R&D Project Evaluation Methods», dans *Research Management*, septembre, p. 29-37.
- SUTHERLAND, J. (1986), «Assessing the AI Contribution to Decision Technology», dans *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, n° 16-1, p. 3-20.
- SVIOKLA, J. (1986), «Business Implications of Knowledge-Based Systems», dans *Data Base*, parties 1 et 2, été, p. 5-19 et automne, p. 5-16.
- TATE, A. (1977), «Generating Project Networks», *Actes IJCAI-77*, p. 888-893.
- THAMHAIN, H. et GEMMILL, G. (1974), «Influence Styles of Project Managers: Some Project Performance Correlates», dans *Academy of Management Journal*, n° 17, p. 216-224.
- TUSHMAN, M. (1977), «Special Boundary Roles in the Innovation Process», dans *Administrative Science Quarterly*, n° 22, p. 587-605.

- TUSHMAN, M. et KATZ, R. (1980), «External Communication and Project Performance: An Investigation into the Role of Gatekeepers», dans *Management Science*, n° 26, p. 1071-1085.
- VAN DE VEN, A. (1986), «Central Problems in Management of Innovation», dans *Management Science*, n° 32, p. 590-607.
- VAN DE VEN, A. et DELBECQ, A. (1971), «Nominal vs Interacting Group Processes for Committee Decision-Making Effectiveness», dans *Academy of Management Journal*, n° 14, p. 203-212.
- VERE, S. (1983), «Planning in Time: Windows and Durations for Activities and Goals», dans *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-5, p. 246-267.
- WEIL, E. et CANGEMI, R. (1983), «Linking Long-Range Research to Strategic Planning», dans *Research Management*, mai-juin, p. 32-39.
- WHITLEY, R. et FROST, P. (1973), «Task Type and Information Transfer in a Government Research Lab», dans *Human Relations*, n° 25, p. 537-550.
- WILKINS, D. (1984), «Domain Independent Planning: Representation and Plan Generation», dans *Artificial Intelligence*, n° 22-3, p. 269-301.
- WINKOFSKY, E., BAKER, N. et SWEENEY, M. (1981), «A Decision Process Model of R&D Ressource Allocation in Hierarchical Organizations», dans *Management Science*, n° 27, p. 268-283.
- WINKOFSKY, E., MASON, R. et SOUDER, W. (1980), «R&D Budgeting and Project Selection: A Review of Practices and Models», dans DEAN, B. et GOLDHAR, J. (1980), *Management of Research and Innovation*, Amsterdam, p. 183-198.



NOTICE BIOGRAPHIQUE

Ann C. Séror est professeure associée au Département de gestion de la Faculté des sciences de l'administration de l'Université Laval, au Québec. Diplômée en 1969 du Mount Holyoke College, elle termine en 1975 une maîtrise en gestion (MBA) à l'IMEDE, actuellement IMD (International Institute for Management Development) à Lausanne (Suisse). Elle obtient son doctorat en sciences administratives en 1980 à la Krannert Graduate School of Management, Purdue University. Parmi les domaines de recherche qui l'intéressent actuellement, citons l'analyse organisationnelle interculturelle, la mise au point de modèles intelligents de systèmes sociaux et les effets de systèmes informatisés sur les modes de communication relatifs à la gestion. Elle est membre de l'Academy of Management, du Decision Sciences Institute et de l'American Psychological Association.



RÉSUMÉ

La recherche et le développement dans le domaine de l'innovation industrielle est un processus administratif complexe et à plusieurs niveaux, qui englobe la planification de projet, l'allocation des ressources, l'ordonnancement et la recherche en groupes de projet. Dans cet article, l'auteur examine le problème de la prise de décision dans ces trois domaines et l'impact que les systèmes experts peuvent avoir sur la gestion et le contrôle de programmes complexes de recherche et de développement. À chaque niveau de la prise de décision, divers modèles et méthodes analytiques ont été mis au point, mais ils ne sont guère utilisés par les chefs d'entreprise en raison de leur complexité et de l'importance des ressources nécessaires à leur mise en œuvre. La technologie des systèmes experts offre de nombreuses possibilités de rendre ces outils analytiques accessibles aux chefs d'entreprise et de modéliser le processus d'innovation à travers la gestion de projets. Quelques-unes de ces possibilités sont étudiées dans cet article et certaines applications actuelles de systèmes experts à un environnement de R-D sont également considérées. Parmi les suggestions de recherches ultérieures, citons (a) l'intégration de méthodes quantitatives à des modèles de comportement pour la collecte de données, (b) l'application de la représentation cybernétique au développement de méta-modèles destinés à la gestion des nombreux composants de l'environnement de R-D, (c) l'utilisation de systèmes experts pour élaborer et valider les modèles d'exploitation de projet et (d) la conception de structures et de processus organisationnels destinés à faciliter la mise en œuvre de systèmes experts effectifs pour la recherche et le développement.



ABSTRACT

Research and development for industrial innovation is a complex multi-level administrative process including project planning, resource-allocation, scheduling and research in project groups. This paper examines decision making in these three areas and considers the impact of expert system on management and control of complex research and development programs. At each level of decision making a variety of analytical methods and models have been developed, but these remain little used by managers because of their complexity and the resources required for their implementation. Expert systems technology offers opportunities to make these analytical tools accessible to managers and to model the process of innovation through project management. In this paper, some of these opportunities are discussed and existing applications of expert systems technology to the R&D environment are referenced and described. Suggestions for future research include (1) integration of quantitative methods with behavioral models for data collection, (2) the application of cybernetic knowledge representation to development of metamodels for management of the many components of the R&D environment, (3) use of expert system technology to elaborate and validate models of project management, and (4) design of organisation structures and processes to support implementation of effective expert systems for research and development.

RESUMEN

La investigación y el desarrollo en el campo de la investigación industrial es un proceso administrativo complejo en varios niveles que abarca la planificación de proyecto, la asignación de recursos, la planificación y la investigación en grupos de proyecto. En este artículo examinaremos el problema de la torua de decisión en esos tres campos y el impacto que los sistemas expertos pueden tener sobre la gestión y el control de programas complejos de investigación y de desarrollo. Para cada nivel de la toma de decisión, varios modelos y métodos analéticos se han elevado a cabo pero no son muy utilizados por los directores por su complejidad y por la importancia de los recursos necesarios a su realización. La tecnología de los sistemas expertos ofrece numerosas posibilidades para hacer que esas erramientas analéticas les sean asequibles a los directores y para modelizar el proceso de innovación mediante la explotación de proyectos. Estudiaremos algunas de esas posibilidades en este artículo y tomaremos en consideración también algunas aplicaciones actuales de sistemas expertos en un ambiente de investigación y desarrollo. Entre las sugerencias de investigaciones ulteriores, citemos (1) la integración de métodos cuantitativos en modelos de comportamiento para la recolección de datos, (2) la aplicación de la representación cibernética en el desarrollo de meta-modelos destinados a la gestión de los numerosos componentes del ambiente de investigación y desarrollo, (3) la utilización de sistemas expertos para elaborar y validar los modelos de explotación de proyecto y (4) la concepción de estructuras y de procesos organizacionales destinados a facilitar la realización de sistemas expertos efectivos para la investigación y el desarrollo.