

23. L'aide à la décision et la recherche opérationnelle aujourd'hui

par Vincent MOUSSEAU, Camille ROSENTHAL-SABROUX,
Bernard ROY, Pierre TOLLA, Daniel VANDERPOOTEN,
LAMSADE – Université Paris-Dauphine

Depuis très longtemps, l'homme cherche à prendre appui sur l'abstraction, le raisonnement hypothético-déductif pour guider et justifier ses actes. C'est dans cette perspective que s'inscrit la discipline scientifique qu'est la recherche opérationnelle. Cette discipline est née de recherches menées sur des opérations militaires durant la seconde guerre mondiale. Peu après, on a vu apparaître et se multiplier, dans le domaine civil, des organismes d'études dont la fonction était d'analyser et de préparer des décisions de toutes sortes. Les organismes étatiques aussi bien que les entreprises se sont ensuite dotés de cellules, de services ayant une mission d'aide à la décision.

Il s'est développé, depuis lors, un réseau de concepts, de modèles, de procédures et, plus généralement de méthodologies destinés à éclairer les décisions, à conduire les processus qui les déterminent.

Qu'est-ce que l'aide à la décision et la recherche opérationnelle (AD/RO)?

Sous le terme « aide à la décision », on désigne essentiellement les travaux qui prennent appui sur des modèles plus ou moins formalisés et ont pour objet d'améliorer, de faciliter ou d'accompagner le déroulement ou la conduite d'un processus de décision ou encore la maîtrise ou la compréhension que peut en avoir une instance de décision. L'aide à la décision ainsi conçue reprend et actualise le projet initial de la recherche opérationnelle : chercher à prendre appui sur la science pour éclairer les décisions de nature managériale et pour conduire les processus de décision dans les systèmes organisés. Les problèmes décisionnels pour lesquels le recours à une aide extérieure peut se révéler nécessaire se caractérisent par leur complexité, l'importance de l'enjeu et des conséquences futures, le fait que la décision engage sur le long terme, etc. Ces décisions peuvent par exemple concerner :

- l'agencement temporel des tâches dans un atelier ou sur un chantier ;
- la détermination des emplois du temps d'établissements scolaires ;
- le mode de production, par exemple l'adaptation du mode de fonctionnement d'une raffinerie à une demande variable de carburants de diverses natures en fonction des qualités de pétrole brut disponibles ;
- en informatique, la conception de circuits intégrés, l'optimisation des déplacements du bras d'une table traçante ;
- le choix de variantes parmi toutes celles imaginables relativement à un même projet (projet pouvant concerner une liaison routière, ferroviaire ou encore la localisation d'une usine ou d'un dépôt) ;
- la gestion de ressources limitées, par exemple l'affectation du personnel navigant aux différents vols d'une compagnie aérienne ;
- le dépouillement d'un appel d'offres pour l'acquisition d'un matériel ou encore une réalisation architecturale.

Le très large éventail des applications de l'AD/RO ne doit pas toutefois laisser croire que les outils développés sont une panacée. Durant les années 1960, la recherche opérationnelle a suscité un engouement tout à fait excessif qui confèrerait à cette discipline le pouvoir de trouver une solution indiscutable à chaque problème. Il s'en est suivi une déception qui a conduit à parler de la crise de la RO. Les chercheurs opérationnels ont depuis poursuivi leurs travaux sans rechercher l'universalité et ont développé un large corps de théories et de méthodes : programmation mathématique (cf. Minoux, 1983), théorie des graphes (cf. Berge, 1983 ; Gondran et Minoux, 1979), théorie des processus stochastiques (cf. Kleinrock, 1975 ; Wolff, 1989), méthodes multicritères (cf. Keeney et Raiffa, 1976 ; Roy, 1985 ; Roy et Bouyssou, 1993), etc. Certaines de ces théories concernent plus directement un type d'activité spécifique : la production (cf. Giard, 1988), la stratégie industrielle (cf. Ponssard, 1981 ; Molet, 1989).

Le domaine de recherche que constitue l'AD/RO est, à plusieurs égards, singulier. Tout d'abord, l'AD/RO se situe au carrefour de plusieurs disciplines. Pour arriver à ses fins, elle emprunte des outils, démarches, procédures et résultats à d'autres disciplines :

- statistiques : recueil de données ;
- mathématiques discrètes et continues, informatique : élaboration d'une méthode de traitement ;
- économie, sociologie, psychologie : compréhension et analyse de l'environnement d'insertion du modèle.

Par ailleurs, l'AD/RO a pour souci de regrouper deux types de préoccupations par nature opposées : les développements théoriques et les applications concrètes ; les confrontations « théorie-pratique » sont particulièrement fécondes. Devant l'importance de certains problèmes concrets, de nouvelles techniques mathématiques ont été développées ; inversement, des avancées théoriques ont permis de résoudre un problème plus efficacement ou d'en trouver une nouvelle modélisation.

Le rôle des modèles en AD/RO

Afin d'éclairer la décision qu'il aborde, le chercheur opérationnel s'efforce de bâtir un modèle, c'est-à-dire une représentation formelle de l'objet, de la situation ou du système en relation avec la décision étudiée. Ce modèle prend souvent la forme d'un ensemble d'équations mathématiques, de relations ou encore de représentations graphiques et sert à l'investigation des solutions.

Illustrons l'étape cruciale qu'est la démarche de modélisation par un exemple très classique de collecte de lait. Une coopérative laitière effectue quotidiennement le ramassage du lait produit par différents exploitants. Chaque jour, le camion de ramassage part de la coopérative pour collecter la production de lait de chacune des fermes et rentre ensuite à la laiterie. Du point de vue de la coopérative, plus la tournée est courte, plus elle est économique mais aussi plus elle permet au chauffeur de participer à d'autres tâches. Supposons que le seul critère jugé pertinent aux yeux de la personne chargée d'établir la tournée (que nous nommerons par la suite décideur) soit la durée de la collecte. Le problème ainsi posé se présume à la recherche d'une tournée la plus courte sur un graphe dont les sommets représentent les fermes et les arcs les liaisons possibles entre ces fermes, chaque arc étant évalué par les temps de transport.

Remarquons ici que ce modèle est une représentation caricaturale de la situation ; il est en effet partial puisqu'il ne prend en compte que les éléments jugés adéquats pour analyser le problème. Le modèle constitue néanmoins un support essentiel pour comprendre la situation de décision et explorer différentes solutions. À ce niveau, la façon de modéliser le problème peut être remise en cause. Si toutefois on accepte de poser le problème sous cette forme, il convient de déterminer l'ordre selon lequel les fermes doivent être visitées pour que la tournée soit la plus courte possible. Pour déterminer cette tournée optimale au sens du temps de parcours, une méthode simple consiste à énumérer toutes les tournées concevables et calculer leur durée. Cette méthode est néanmoins extrêmement coûteuse : le volume des calculs nécessaires croît, en effet, exponentiellement avec le nombre de fermes à visiter (pour n fermes, il existe $(n-1)!$ tournées possibles dans le cas asymétrique). Ce phénomène d'explosion combinatoire rend cette technique d'énumération inutilisable dès lors que le nombre de fermes excède une valeur relativement modeste. Ce problème, classiquement appelé problème du voyageur de commerce (PVC), a suscité de nombreux travaux qui, couplés avec les moyens informatiques actuels permettent de résoudre des PVC de grande taille (quelques milliers).

Parallèlement à ces difficultés de nature combinatoire, le chercheur opérationnel est confronté à des difficultés liées à la modélisation elle-même. La formulation d'un problème ne s'impose pas de toute évidence selon un énoncé qui renverrait, sans ambiguïté, à des catégories que l'on appelle inconnues, contraintes, objectifs, etc. Dans un contexte décisionnel donné, la phase de modélisation procède nécessairement par simplifications et omissions¹. En effet,

1. Le processus de modélisation substitue aux entités réelles complexes une représentation synthétique abstraite qui ne peut transcrire la richesse de la situation réelle représentée ; la métaphore « la carte n'est pas le territoire » illustre bien cette difficulté.

le modélisateur ne retient que les éléments jugés pertinents en vue de l'exploration des solutions.

Illustrons ces difficultés en poursuivant l'exemple du ramassage de lait. Supposons que le décideur juge le modèle simpliste et s'interroge sur la nécessité d'intégrer certains éléments qui influent sur la solution à apporter. En outre, la laiterie ne dispose pas d'un seul camion mais de trois, ce qui modifie la nature du problème. Une contrainte supplémentaire concerne la capacité des camions (chacun d'entre eux ne pouvant collecter, au cours d'une tournée, plus que ce qu'il peut contenir). Cette contrainte revêt un caractère d'autant plus important que la production quotidienne de chaque ferme est variable et ne peut être connue à l'avance. Par ailleurs, les temps de transport entre les fermes ne peuvent pas être considérés comme des données exactes car la météorologie et la densité du trafic influent sur ces durées. D'autre part, les tournées doivent respecter les horaires de traite qui varient selon les fermes (arriver avant la fin de la traite retarderait la tournée).

De plus, le décideur s'interroge sur le fait de ne considérer qu'un seul critère pour déterminer les tournées : la durée. D'autres facteurs plus qualitatifs, intégrant des facteurs humains, lui semblent devoir être pris en compte : risque de ne pas pouvoir collecter tout le lait produit par les fermes (capacité des camions insuffisante ou non respect des horaires), agrément de la tournée pour les chauffeurs, ...

Dans le cadre de la collecte de lait, comme dans de nombreuses autres situations de décision, la prise en charge d'un problème et, par conséquent, sa formulation ne peuvent être envisagées indépendamment des rapports entre les intervenants et la situation qu'ils affrontent. De surcroît, la perception qu'en a ce dernier, les propos qu'il tient, les questions qu'il soulève, ... constituent un mode d'interaction avec le réel qui peut contribuer à le transformer. C'est ainsi qu'il est fréquent d'observer que, sous l'effet même du processus de résolution d'un problème, la formulation de celui-ci se trouve modifiée. Précisons que ce genre de modifications ne se réduit pas obligatoirement à un simple apport de précisions ou de compléments à la formulation antérieure. Le changement pourra être dans certains cas si radical qu'il sera légitime de se demander si l'on a affaire au même problème. Dans notre exemple, on peut aisément imaginer que la détermination des tournées fasse apparaître la nécessité d'installer une seconde laiterie dont il s'agirait de choisir la localisation. Ce même problème pourrait aussi s'orienter vers la définition d'une politique d'achat de nouveaux camions.

Une fois le modèle construit, une voie pour l'intégrer dans le milieu organisationnel est de le finaliser à travers un système interactif d'aide à la décision (SIAD) qui, en utilisant les moyens informatiques actuels, permet de faire intervenir le décideur de manière active dans le processus de décision (en lui offrant par exemple la possibilité de mesurer aisément l'effet de certaines modifications qu'il souhaite tester). Un aspect essentiel de la réussite d'une étude d'AD/RO réside, en effet, dans son acceptation par le milieu organisationnel dans lequel elle s'insère. Dans notre exemple, il se peut que les tournées ne laissent pas la possibilité aux chauffeurs de déjeuner dans des conditions qu'ils jugent acceptables ; le fait de modifier les tournées quotidiennement peut entraîner une réaction négative des chauffeurs qui tiennent à leurs habitudes, ...

L'analyse du rôle des modèles dans les applications d'AD/RO depuis son origine dénote une profonde évolution de l'esprit de la modélisation. Jusqu'à la fin des années 1960, les chercheurs opérationnels considéraient les modèles qu'ils développaient comme une description objective de la situation de décision étudiée, cette dernière étant supposée avoir une existence indépendante de l'investigation menée sur elle. Dans le cadre d'une telle approche, que nous qualifierons de descriptiviste, le modélisateur cherche donc à décrire ce qui existe. Pour obtenir une estimation du réel observé, celui-ci doit trouver de bonnes approximations, éviter les biais, ...

Pourtant, nombre d'observations empiriques tendent à mettre en défaut la validité d'une telle attitude. Comme nous l'avons déjà mentionné, le simple fait d'entamer une étude d'aide à la décision conduit à modifier le tissu organisationnel dans lequel cette étude s'insère et donc la nature du problème à analyser. Ensuite, il est communément admis que les opinions émises dépendent de la formulation du problème, du mode de questionnement, de l'ordre selon lequel les questions sont posées, ... Par ailleurs, la formulation d'un problème ne s'impose pas (comme on l'a vu dans le problème de la collecte de lait) comme évidente. Le modèle est le résultat d'une construction qui n'est pas neutre. D'autre part, certains éléments sont difficilement appréhendables sous une forme quantifiée¹.

Les difficultés mentionnées ci-dessus ont conduit à remettre en cause l'approche descriptiviste et à faire évoluer l'esprit de la modélisation. Cette évolution vise à remettre en cause la conception des modèles considérés comme descriptions fidèles de la situation décisionnelle ayant une existence indépendante. Une seconde approche, l'attitude constructiviste, prend le contre-pied de la première et confère aux modèles un rôle très différent. Dans ce cadre, la modélisation reflète des hypothèses de travail bâties en interaction avec les intervenants dans le but d'organiser et de faire évoluer une situation. Emprunter le voie du constructivisme consiste à considérer les concepts, les modèles, les procédures comme des jeux de clés construits pour permettre aux acteurs impliqués dans le processus de cheminer et progresser conformément à leurs objectifs et systèmes de valeurs.

Deux exemples de modélisation en AD/RO

Pour illustrer ce qu'est la pratique de l'AD/RO, nous présentons dans cette section deux exemples de modélisation de nature très différente. Le premier problème propose une modélisation basée sur les graphes dont la résolution fait appel à une technique centrale en AD/RO : la programmation linéaire. La modélisation choisie pour le second exemple présente l'originalité d'allier, dans une même application, deux approches : l'intelligence artificielle et l'aide multicritère à la décision. Soulignons que chacun de ces exemples met en évidence ce que l'AD/RO peut faire aujourd'hui. Les deux problèmes qui vont être présentés

1. C'est le cas du coût d'une défaillance dans des problèmes de gestion de risque ou des coûts de rupture de stock en gestion des approvisionnements.

n'auraient pas pu être abordés de la sorte il y a 25 ans, les bases conceptuelles et/ou algorithmiques faisant défaut à l'époque. Le premier exemple insiste sur la modélisation et les techniques de résolution tandis que le second illustre un aspect crucial d'une intervention d'AD/RO : la prise en compte des particularités du contexte décisionnel.

Optimisation dans un réseau de télécommunications

L'un des problèmes cruciaux dans la gestion des réseaux de télécommunications est celui de l'optimisation du routage des communications. Un réseau de télécommunications est composé de nœuds (centraux téléphoniques) reliés par différents systèmes de transmission (par exemple des gaines techniques comportant des câbles classiques ou à fibres optiques). L'optimisation du routage consiste à acheminer au moindre coût dans un tel réseau un certain nombre de demandes simultanées (entre des nœuds « sources » et des nœuds « puits ») sans dépasser les capacités des systèmes de transmission installés. On peut modéliser ce problème comme un problème de multiflot compatible à coût minimum de la façon suivante (cf. Minoux, 1983) :

Le réseau est représenté par un graphe orienté $G = (X, U)$ où l'ensemble des sommets X est constitué des nœuds du réseau et l'ensemble des arcs U des systèmes de transmission.

À chaque arc u d'origine et d'extrémité dans X on associe la capacité maximale de transmission $c_u \geq 0$.

Supposons que l'on doive « router » K demandes dans le réseau ; la k^e demande étant définie par son sommet source s_k , son sommet puits t_k et sa valeur r_k .

On appelle A la matrice d'incidence définie de la façon suivante : à chaque arc du réseau correspond une colonne ; la colonne correspondant à l'arc (d'extrémité initiale i et finale j) comporte, comme seules valeurs non nulles, $+1$ sur la ligne i et -1 sur la ligne j .

On note ψ_u^k un flux de communications passant dans l'arc u pour la k^e demande (ce flux pouvant prendre une valeur positive ou négative). Le vecteur $\psi^k = (\psi_u^k)_{u \in U}$ doit vérifier la loi de Kirchhoff en chaque sommet du réseau sous peine de perdre des communications et donc de vérifier : $A \cdot \psi^k = r_k \cdot \delta_k$ où δ_k est un vecteur comportant, comme seules valeurs non nulles, 1 et -1 sur les lignes correspondant respectivement aux sommets s_k et t_k .

Les flux de communications sur chaque arc doivent être inférieurs ou égaux à la capacité de cet arc.

On note γ_u le coût unitaire de communication sur l'arc u .

Le problème se formalise alors comme suit :

$$\left[\begin{array}{l}
 \text{Minimiser } \sum_{u \in U} \gamma_u \cdot \sum_{K=1}^K |\psi_u^k| \\
 \text{avec } \sum_{k=1}^K |\psi_u^k| \leq c_u \quad \forall u \in U \\
 A \cdot \psi^k = r_k \cdot \delta_k \quad k = 1, 2, \dots, K
 \end{array} \right.$$

Après quelques modifications destinées à éliminer les valeurs absolues (on pose le changement de variables $|\psi_u^k| = \phi_{u+}^k + \phi_{u-}^k$ avec $\phi_{u+}^k = \psi_u^k$ si $\psi_u^k \geq 0$ et 0 sinon, $\phi_{u-}^k = -\psi_u^k$ si $\psi_u^k \leq 0$ et 0 sinon), et en supposant que N est le nombre de sommets du graphe et M le nombre de ses arcs, on constate que le problème peut se mettre sous la forme classique d'un programme linéaire comportant $2KM$ variables et $M + KN$ contraintes qui aura la forme suivante :

γ									
Φ^1		Φ^2		Φ^3		$\dots$		Φ^K	
1	1	1	1	1	1		1	1	
A	-A								
		A	-A						
				A	-A				
							A	-A	

 $\leq$

c
$r_1 \delta_1$
$r_2 \delta_2$
$r_3 \delta_3$
$r_K \delta_K$

 $=$

Les problèmes d'optimisation du routage dans les réseaux de télécommunications sont couramment formalisés sous forme de problèmes comportant plusieurs centaines de milliers, voire quelques millions, de variables et plusieurs dizaines de milliers ou une centaine de milliers de contraintes. C'est donc un problème difficile et très coûteux à résoudre. La méthode dite du simplexe, connue depuis les années 1950, permet théoriquement de résoudre rigoureusement ce genre de problèmes. Malheureusement, elle conduit à des temps de traitement prohibitifs pour des problèmes de ce type et d'aussi grande taille. On dispose aujourd'hui de méthodes heuristiques qui donnent rapidement des solutions apparemment proches de la solution optimale. De plus, des méthodes dites de « points intérieurs » beaucoup plus rapides que la méthode du simplexe pour des matrices de contraintes très creuses (comme c'est le cas ici), ont déjà permis de résoudre, dans d'excellentes conditions, des problèmes similaires portant sur plusieurs centaines de milliers de variables.

Amélioration de la régularité sur certains réseaux SNCF

Certains réseaux SNCF, principalement ceux des banlieues de l'Ile-de-France, supportent un trafic très dense et sont, de ce fait, très sensibles au moindre incident. L'amélioration de la régularité sur ces réseaux peut s'obtenir par le choix de grilles horaires spécialement robustes face aux incidents les plus courants, par des investissements en matériel roulant, par exemple plus rapide, ou encore par des améliorations d'infrastructures, facilitant notamment les dépassements. Il n'est pas simple d'évaluer le gain de régularité que l'on est en droit d'attendre de telle ou telle de ces solutions. Il est cependant nécessaire d'y parvenir pour justifier des investissements coûteux. Le système d'aide à la décision qui a été réalisé pour la SNCF et dont on décrit ci-après les grandes lignes a précisément pour objet de permettre cette évaluation.

La grille horaire sur un réseau donné est établie, pour un matériel spécifié, en tenant compte d'une part des marches-types des trains qui en résultent et, d'autre part, des prévisions de demandes. Pour bâtir une telle grille, la SNCF dispose, depuis plusieurs années, d'un logiciel d'aide à la conception des horaires (CHAO). Ce logiciel ne prend en compte aucun des incidents possibles dus aux voyageurs, à la signalisation, au matériel roulant ou à la voirie ; or, de tels incidents perturbent souvent la marche théorique des trains. Quelques secondes de retard sur un train peuvent, dans certaines conditions, se répercuter en s'amplifiant sur le train suivant et, par un effet boule de neige, perturber gravement la circulation. Dans l'exploitation quotidienne du réseau, des régulateurs, informés en temps réel des incidents, prennent les décisions d'attente en gare ou, au contraire, de dépassement, ou encore de dégarage d'un train supplémentaire, ... qu'ils jugent appropriées.

Le système d'aide à la décision dont il est question ici n'a pas pour objet de remplacer le régulateur. Même s'il peut contribuer à sa formation, il a tout d'abord été conçu pour aider au choix d'une grille horaire robuste, sur un réseau donné avec un matériel donné et pour apprécier le gain de robustesse que procure un nouvel investissement. Sous ce terme de robustesse d'une grille, on désigne sa capacité à absorber les perturbations, autrement dit son aptitude à permettre une exploitation régulière face aux incidents usuels. Mais que sont les incidents usuels ? Il a fallu en faire une typologie, en apprécier la fréquence. Ceci a permis de définir une batterie d'incidents probabilisés constituant un banc d'essai grâce auquel la robustesse d'une grille pouvait être mise à l'épreuve.

L'analyse a montré que six dimensions étaient nécessaires pour caractériser la robustesse eu égard à la complexité de cette notion. Ces dimensions permettent de saisir aussi bien le point de vue de l'exploitant que celui du voyageur. Elles prennent en compte, pour chaque incident, le nombre de trains perturbés, la durée totale de la perturbation, le nombre de voyageurs touchés par la perturbation, l'augmentation moyenne du temps de transport découlant de la perturbation, le nombre de trains supprimés, le retard maximum qu'un train peut avoir sans engendrer d'autres perturbations. Sur chacune de ces six dimensions, les résultats sont agrégés sur l'ensemble du banc d'essai en tenant compte de la probabilité de chaque incident, ce qui permet de définir six critères de comparaison.

Pour apprécier l'impact de chaque incident sur une dimension donnée, il faut reproduire le comportement des régulateurs. Ceci a nécessité de mieux connaître leur mode de raisonnement et de le formaliser au travers de règles synthétisant leur expérience. Ces règles de décision, de même que les impératifs techniques et réglementaires qui fixent la marche des trains, ont été pris en compte dans un système expert. Celui-ci détecte les conflits occasionnés entre les trains par la perturbation ainsi que l'ensemble des anomalies qu'engendrent les retards. Grâce à une procédure relativement compliquée qu'il n'est pas possible de décrire ici¹, le système expert gère la perturbation due à un incident jusqu'à ce qu'elle soit totalement résorbée et cela comme le ferait un régulateur.

L'approche système expert apparaît ici comme la mieux appropriée pour évaluer, sur les six critères considérés, la robustesse d'une grille quelconque sur un réseau donné avec un matériel donné. Ce système, complété par diverses interfaces destinées à préciser les caractéristiques du réseau, du matériel, de la grille horaire et de la batterie d'incidents, permet d'apprécier, selon les six critères, le bien-fondé de n'importe quelle proposition d'investissement en installations fixes ou en matériel roulant. Il permet aussi de comparer des grilles horaires toutes choses égales par ailleurs et d'apprécier l'impact de demandes variées qui émanent, par exemple, des municipalités en vue de modifier des cadences ou d'obtenir l'arrêt de certains trains dans des tranches horaires données.

Cette application illustre une tendance qui semble s'affirmer. Pour répondre, de façon satisfaisante, aux demandes en matière d'aide à la décision, il importe de savoir mobiliser différentes approches (ici intelligence artificielle et aide multicritères à la décision) et d'être capable d'associer des modèles et techniques variés (ici CHAO, règles de décisions, modèle probabiliste, fonctions-critères agrégeant des conséquences multiples); cf. Levine et Pomerol, 1989; Pomerol et Barba-Romero, 1993).

L'enseignement de l'AD/RO

L'enseignement constitue à la fois un reflet significatif et un stimulant important pour l'essor de toute discipline.

Nous avons évoqué auparavant la crise de la RO au lendemain de l'engouement excessif des années 1960. Cette crise a également trouvé certains de ses fondements en raison du statut académique de l'AD/RO en France à cette époque et, il faut le reconnaître, d'une conception quelque peu réductrice de son enseignement.

Il importe de se souvenir que la France, aux côtés de la Grande-Bretagne et des États-Unis, a joué, dès l'origine, un rôle prépondérant dans l'émergence de la

1. Pour plus de détails, voir Jean-Charles Pomerol, Bernard Roy, Camille Rosenthal-Sabroux, Amin Saad : An « intelligent » DSS for the multicriteria evaluation of railway timetables, Université Paris-Dauphine, Cahier du LAMSADE n° 120, octobre 1993.

Recherche Opérationnelle¹. Cependant, les chercheurs opérationnels français, à la différence de leurs collègues britanniques et américains, éprouvèrent de grandes difficultés à faire reconnaître officiellement la discipline AD/RO et, par conséquent, à l'insérer dans le tissu académique français. Par ailleurs, déçus par le vif engouement suivi d'une aussi vive déception, certains des spécialistes de l'AD/RO eurent tendance à privilégier la production d'un savoir essentiellement théorique, reléguant au second plan les aspects liés à la mise en œuvre et à l'insertion des outils d'aide à la décision. La nécessité de faire reconnaître la discipline AD/RO en lui conférant un caractère scientifique établi a également renforcé cette tendance. Dans bien des cas, l'enseignement français de l'AD/RO s'est alors réduit à une composante certes fondamentale mais insuffisante : l'apprentissage des concepts et techniques mathématiques. Un enseignement ainsi conçu, s'il est à même d'assurer la formation de spécialistes et de théoriciens, ne remplit pas son rôle vis-à-vis de l'ensemble des utilisateurs potentiels. Il est intéressant de constater que certains pays, comme la Grande-Bretagne, ont connu une évolution inverse au niveau de leur enseignement où ils ont privilégié la composante pragmatique au détriment parfois de la composante théorique.

Une prise de conscience interne sur la nécessité de réhabiliter la composante pragmatique ainsi que l'émergence de conditions favorables externes (meilleure reconnaissance de la discipline, apparition d'outils et logiciels informatiques très accessibles,...) ont conduit progressivement à faire évoluer l'enseignement vers un meilleur équilibre.

Examinons maintenant les spécificités de l'enseignement de l'AD/RO ainsi que ce qu'il est souhaitable d'y trouver.

Une première caractéristique importante provient de la variété des publics auxquels cet enseignement est susceptible de s'adresser. En effet, en raison du caractère transversal de la discipline, de la diversité de ses secteurs d'application ainsi que les aptitudes qu'elle développe tant pour l'analyse de problèmes que pour l'examen critique de solutions proposées, l'enseignement de l'AD/RO mérite d'être dispensé à des publics étudiants fort variés. On peut distinguer trois catégories : les ingénieurs-techniciens, les gestionnaires-économistes et les informaticiens. Il s'ensuit naturellement la nécessité de moduler l'enseignement selon la formation des étudiants : s'il est profitable d'évoquer, pour des informaticiens, l'influence du choix d'une structure de données sur l'efficacité d'un algorithme, il sera préférable, pour des gestionnaires, d'insister sur l'interprétation économique d'une analyse de sensibilité.

De plus, cette variété de publics étudiants entraîne plus qu'ailleurs la nécessité de distinguer clairement différents objectifs de formation. Selon le cas, l'enseignement pourra avoir pour vocation de :

- sensibiliser les futurs utilisateurs que sont les gestionnaires, les ingénieurs, les informaticiens, ...
- former les indispensables praticiens et consultants,
- former les futurs théoriciens et enseignants de l'AD/RO.

1. La fédération internationale de recherche opérationnelle (IFORS) a été fondée à l'initiative de ces trois pays avec, pour langues officielles, l'anglais et le français.

Le premier objectif est éminemment important puisqu'il concerne la grande majorité des étudiants. Il s'agit avant tout de faire découvrir à l'étudiant une approche rationnelle des problèmes de décision, de le sensibiliser à certains types de difficultés (aspects combinatoires, aléatoires, multicritères,...). Vis-à-vis de sa pratique professionnelle future, il s'agit de le former afin qu'il soit capable d'identifier les problèmes et situations relevant d'une démarche AD/RO et qu'il soit en mesure de dialoguer avec les spécialistes du domaine. Notons que c'est essentiellement à ce niveau que l'enseignement joue son rôle stimulant quant à l'essor de la discipline. Les deux derniers objectifs de formation relèvent d'un enseignement spécialisé de niveau 3^e cycle.

Comment concevoir l'enseignement compte tenu de ces spécificités et quels contenus privilégier ?

En premier lieu, il importe évidemment de consacrer une partie importante de l'enseignement aux fondements théoriques de l'AD/RO (concepts et modèles mathématiques, procédures algorithmiques, principes heuristiques) et à leur application à des exemples illustratifs.

Précisons qu'il convient à ce niveau de s'attarder sur les concepts de base structurants (qu'est-ce qu'une variable de décision, un paramètre, un modèle ?) et d'insister sur le rôle de la modélisation. On fournira des exemples illustratifs et des cas d'application. On tâchera d'éviter l'écueil consistant à fournir un catalogue de techniques souvent perçues comme un ensemble disparate de recettes. Selon le niveau de formation mathématique de l'auditoire, on pourra s'attarder sur certains détails théoriques particulièrement intéressants. Il importe également de fournir une justification, ne serait-ce qu'intuitive, aux méthodes que l'on présentera. Si ces justifications paraissent trop difficiles, il est préférable de ne pas présenter la méthode afin d'éviter l'esprit « recette » (par exemple, on ne saurait être trop critique vis-à-vis d'une présentation de la méthode du simplexe à travers la seule méthode des tableaux qui ne constitue qu'une manière d'exécuter les calculs et ne permet pas à l'étudiant de comprendre les idées sous-jacentes à la méthode du simplexe). On évitera également de consacrer de trop longs moments au déroulement des algorithmes et aux détails calculatoires. L'évolution de la micro-informatique, l'accès aisé à des logiciels d'AD/RO de plus en plus simples à utiliser ainsi que l'apparition de modules d'optimisation sur les tableurs constituent une évolution extrêmement positive à cet égard. Il apparaît en effet très profitable, en particulier vis-à-vis d'un futur utilisateur, de consacrer du temps à l'utilisation de tels outils et surtout à l'interprétation des résultats qu'ils fournissent.

Si les aspects théoriques et techniques sont fondamentaux, ils ne s'avèrent cependant pas suffisants. Un enseignement exclusivement axé sur ces aspects crée une forme de fermeture. On constate cette fermeture dans les difficultés qu'éprouvent certains de ceux qui se disent spécialistes d'AD/RO à comprendre les aspects relationnels et organisationnels de l'entreprise. Une absence de formation à ce niveau peut amener à des conceptions simplistes consistant à croire que c'est aux autres de bien poser un problème et de venir l'apporter au spécialiste qui a pour rôle de le résoudre en utilisant ses techniques. Faire de l'AD/RO, c'est s'insérer dans un processus organisationnel complexe dont il

importe de connaître certains rouages essentiels. Dès lors, il convient de susciter une ouverture disciplinaire vers la connaissance des entreprises et des organisations, l'économie, la gestion, l'informatique ainsi que certains aspects socio-psychologiques. Les stages en entreprise ainsi que l'organisation de conférences où interviennent des praticiens et utilisateurs de l'AD/RO sont essentiels à cet égard.

Soulignons enfin que l'enseignement de l'AD/RO nous paraît constituer une formation de base très importante dans un monde en évolution rapide où l'on n'apprend plus véritablement des métiers mais des schémas pour faire face à des situations et des problèmes, pour analyser, raisonner, argumenter.

Perspectives¹

En 30 ans, l'AD/RO s'est affirmée comme une discipline scientifique à part entière. Nous avons montré qu'elle se situe au carrefour de nombreux autres domaines qui ont contribué à l'enrichir. La réinterprétation de concepts utilisés dans d'autres disciplines constitue un des éléments déterminants qui a permis, ces dernières années, à l'AD/RO de produire des connaissances nouvelles. Remarquons que ce genre de phénomènes n'est pas à sens unique et que d'autres domaines ont bénéficié des concepts et outils développés en AD/RO. Il nous semble que ce genre de fertilisation croisée engendre des voies de recherche fécondes. Nous citons ci-dessous, à titre d'illustration, quelques directions de recherche qui laissent entrevoir des perspectives prometteuses.

Le développement de méthodes heuristiques contribue à fournir des outils pour les problèmes d'optimisation combinatoire. L'idée sous-jacente à la méthode du recuit simulé provient de la thermodynamique. D'autres méthodes heuristiques sont les algorithmes génétiques qui peuvent être décrits comme un mécanisme qui imite l'évolution génétique d'une espèce. Citons aussi, pour montrer le dynamisme de la recherche dans ce secteur, l'utilisation de réseaux de neurones, la méthode Tabou,...

L'utilisation de techniques issues de l'intelligence artificielle apparaît enrichissante à plusieurs titres, en programmation mathématique par exemple, où de telles techniques facilitent la formulation des programmes et l'interprétation des résultats. Par ailleurs, l'utilisation des logiques non-monotones est source de renouvellement en modélisation des préférences. De plus, une nouvelle génération de SIAD (dits intelligents) est apparue grâce à l'intégration de systèmes experts. Les nouvelles techniques d'acquisition des connaissances peuvent enfin constituer une aide à la formalisation des problèmes.

L'informatique et l'AD/RO sont deux disciplines qui interagissent très fortement. Les réseaux de Petri sont des modèles auxquels recourent aussi bien les informaticiens dans l'étude des systèmes informatiques que les chercheurs opérationnels qui s'intéressent au fonctionnement de processus industriels. La théorie

1. Pour tous les développements dont il est question dans cette section, nous ne pouvons que renvoyer le lecteur aux revues spécialisées.

des files d'attente fournit un outil efficace pour l'évaluation des systèmes informatiques répartis. Le développement de systèmes de gestion de bases de données apparaît comme une source féconde de problèmes, tant en ce qui concerne leur fonctionnement interne (aspects combinatoires, multicritères,...) que relativement à leur mode d'utilisation.

Enfin, l'émergence de machines parallèles fournit aux chercheurs opérationnels un outil informatique plus performant et la parallélisation des algorithmes classiques de RO est en voie de recherche prometteuse. En sens inverse, le bon fonctionnement des machines parallèles soulève des problèmes intéressants qui semblent devoir trouver des réponses grâce à la RO. Il en va d'ailleurs de même avec de nombreux problèmes que pose la conception d'automatismes destinés à conduire des systèmes complexes.

C'est en particulier dans les directions qui viennent d'être évoquées que l'équipe du LAMSADE poursuit ses recherches. Celles-ci sont conduites non seulement sur un plan fondamental mais aussi en relation avec de nombreuses entreprises. En AD/RO, plus encore que dans d'autres disciplines, il importe en effet de confronter les résultats obtenus grâce à des méthodologies fondées sur des techniques et algorithmes à la réalité des organisations. Cette double préoccupation théorique et pratique, présente à Dauphine depuis sa création, a permis et permet de plus en plus de promouvoir dans différentes filières un enseignement d'AD/RO de qualité.

Bibliographie

- [1] BERGE C. — *Graphes*, Gauthier-Villars, 3^e édition, 1983.
- [2] GIARD V. — *Gestion de la production, calcul économique*, 2^e édition, Economica, 1988.
- [3] GONDTRAN M., MINOUX M. — *Graphes et algorithmes*, Eyrolles, 1979.
- [4] KEENEY R., RAIFFA H. — *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, John Wiley & Sons, 1976.
- [5] KLEINROCK — *Queueing system*, John Wiley & Sons, 1975.
- [6] LEVINE P., POMEROL, J.-Ch. — *Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts*, Hermès, 1989.
- [7] MINOUX M. — *Programmation mathématique : théorie et algorithmes*, Dunod, 1983.
- [8] MOLET H. — *La nouvelle gestion de production*, Hermès, 1989.
- [9] POMEROL J.-Ch., BARBA-ROMERO S. — *Choix multicritère dans l'entreprise : principe et pratique*, Hermès, 1993.
- [10] PONSSARD J.-P. — *Competitive Strategies*, North Holland, 1981.
- [11] ROY B. — *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica, 1985.
- [12] ROY B., BOUYSSOU D. — *Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas*, Economica, 1993.
- [13] WOLFF R. W. — *Stochastic Modeling and the Theory of Queues*, Prentice Hall, 1989.

Paris-Dauphine

25 ans de sciences d'organisation

Claude Le Pen

et un groupe de professeurs à l'université Paris-Dauphine

MASSON

Paris Milan Barcelone

1995