

RECHERCHE OPERATIONNELLE ET AGRONOMIE (*)

par Pierre DAGNELIE

Faculté des Sciences agronomiques de l'Etat, Gembloux.

1. Introduction et résumé.

Le *but* de cet exposé est essentiellement de discuter les possibilités d'utilisation de la recherche opérationnelle en agronomie, en soulignant notamment les difficultés d'une telle utilisation.

Nous commencerons par définir l'*objet de la recherche opérationnelle et de l'agronomie* (paragraphe 2 et 3). Nous citerons ensuite quelques *exemples d'application* des méthodes de recherche opérationnelle dans le domaine agronomique (paragraphe 4), et nous examinerons quelles sont les *difficultés* propres à ce domaine d'application (paragraphe 5 et 6).

Au cours des principaux paragraphes, nous donnerons aussi, à titre purement exemplatif, quelques *références*, choisies autant que possible dans la littérature de langue française.

2. Définition et objet de la recherche opérationnelle.

Bien qu'on puisse lui reprocher son caractère fort sommaire et fort général, la meilleure définition de la recherche opérationnelle nous semble toujours être la suivante : *la recherche opérationnelle a pour objet la préparation scientifique des décisions.*

Cette définition peut être complétée en précisant que les méthodes de recherche opérationnelle impliquent généralement l'emploi de modèles mathématiques (statistiques ou probabilistes), et souvent aussi le recours à des moyens de calcul puissants (machines mécanographiques et calculateurs électroniques). De tels compléments d'information ne donnent toutefois pas une idée suffisamment précise de ce qu'est réellement la recherche opérationnelle et de ses limites : aussi nous a-t-il semblé indispensable d'esquisser tout d'abord, surtout à l'intention des agronomes, les principales matières qui constituent la recherche opérationnelle.

(*) Conférence donnée le 24 mai 1966 à la Société Belge pour l'Application des Méthodes Scientifiques de Gestion (SOGESCI).

Pour commencer, la *programmation linéaire*. Celle-ci a pour objet la recherche de l'optimum (maximum ou minimum) d'une fonction linéaire de plusieurs variables (dite fonction économique), dans le cas où les variables en question sont soumises à un certain nombre de contraintes, elles-mêmes linéaires. De tels problèmes d'optimisation se posent notamment à tout chef d'entreprise qui doit effectuer un choix entre deux ou plusieurs productions possibles, ou établir un planning de production. Les variables considérées sont alors les quantités produites, relatives aux différentes productions prises en considération ; la fonction à maximiser est le revenu (net ou brut) de l'entreprise, dont on suppose qu'il dépend linéairement des quantités produites ; et les contraintes résultent notamment des limitations relatives aux différents facteurs de production (volume de main-d'œuvre disponible, dimension des ateliers, etc.). La programmation linéaire permet de résoudre également des problèmes de transport ou, d'une manière plus générale, des problèmes d'ordonnancement ou d'allocation.

Toutefois, les méthodes classiques de programmation linéaire sont purement statiques et déterministes, tous les coefficients intervenant dans le modèle mathématique étant supposés parfaitement connus et constants. Aussi s'est-il avéré nécessaire d'étendre ces méthodes, soit en leur donnant un caractère dynamique (*programmation dynamique*), soit en y introduisant une certaine variabilité (*programmation paramétrée* et *programmation stochastique*). De même, les restrictions dues aux hypothèses de linéarité ont pu être levées dans une certaine mesure par l'introduction de la programmation non linéaire (*programmation quadratique* notamment).

Un deuxième aspect important de la recherche opérationnelle concerne les *phénomènes d'attente*, liés notamment aux *processus stochastiques* : il s'agit entre autres des problèmes de téléphonie et de circulation routière, et des problèmes d'attente à un guichet, dans un atelier d'entretien ou de réparation, à l'entrée d'un port, etc. D'une manière générale, le but poursuivi est de rendre minimum une fonction économique, dans laquelle interviennent notamment les coûts et les temps d'attente, les coûts d'utilisation du personnel et du matériel mis en œuvre, et les temps de service correspondants, ainsi que les coûts de non-utilisation de ce matériel et de ce personnel, et les temps morts correspondants. Les modèles mathématiques élaborés en vue de la résolution de ces problèmes font intervenir aussi des notions telles que le nombre de clients, la fréquence de leurs arrivées ou la distribution de probabilité de ces arrivées, la durée des services ou la distribution de probabilité correspondante, éventuellement des priorités accordées à certaines catégories de clients, l'existence de plusieurs services assurés en série ou en parallèle, etc.

Troisième aspect de la recherche opérationnelle : la *gestion des stocks*. Il s'agit ici aussi de minimiser une fonction économique, faisant intervenir cette fois des coûts de stockage, des frais de commande ou de mise en fabrication, des coûts dus à la pénurie (perte de clients par exemple), des pertes dues aux excédents (matières périssables notamment), etc. D'autres facteurs, tels que les délais de réapprovisionnement, la dimension des entrepôts, le caractère aléatoire des commandes, les fluctuations de prix, etc., doivent également être pris en considération.

Dans le même ordre d'idées, viennent les *problèmes d'usure, d'entretien et de remplacement* des équipements. Le but poursuivi dans ce domaine est de fixer au mieux les taux d'entretien et les limites éventuelles d'utilisation des équipements, en minimisant l'ensemble des coûts de remplacement, d'entretien, d'avarie, etc. Les méthodes utilisées dans ce but tiennent compte également des prix d'achat et de revente, de l'usure (aléatoire ou non aléatoire) des équipements, des probabilités d'avarie, de l'usure initiale des équipements (achat de matériel usagé), etc.

Enfin, il ne peut être question de terminer cette esquisse de la recherche opérationnelle sans parler de la théorie des graphes et de la théorie des jeux.

La *théorie des graphes* intervient notamment dans les problèmes d'ordonnement, de transport et de distribution : elle permet de résoudre par exemple des problèmes tels que le choix du chemin à parcourir pour assurer dans les meilleures conditions la distribution de certains biens en un certain nombre de points. Le problème typique est celui du voyageur de commerce qui doit, aux moindres frais, rendre visite à un certain nombre de clients, en tenant compte des exigences de chacun.

Quant à la *théorie des jeux*, elle permet de traiter, en rapport étroit avec la programmation linéaire, certaines questions de compétition ou de concurrence entre deux ou plusieurs personnes ou firmes.

Ce que nous venons d'en dire brièvement montre que les problèmes de la recherche opérationnelle sont, dans l'ensemble, des *problèmes de choix* : il s'agit dans chaque cas de déterminer quelles sont, en fonction d'une action donnée, les meilleures conditions d'utilisation des moyens limités dont on dispose.

On trouvera des *informations générales* relatives aux problèmes envisagés et aux méthodes de résolution notamment dans une brochure éditée par le Centre d'Etude de Recherche Opérationnelle (1960), dans le livre d'introduction de KAUFMANN et FAURE (1963), dans les deux volumes de KAUFMANN (1959 et 1964), et dans certains ouvrages traduits de l'anglais, tels ceux de CHURCHMANN, ACKOFF et ARNOFF (1961) et de Mc CLOSKEY et TREFETHEN (1958).

3. Définition et objet de l'agronomie.

Bien que l'agronomie soit beaucoup plus ancienne que la recherche opérationnelle, il n'est guère plus facile d'en définir l'objet. Les principaux dictionnaires de la langue française affirment essentiellement que *l'agronomie est la théorie ou la science de l'agriculture* ; par ailleurs, leur lecture nous apprend aussi que *l'agriculture est l'art de cultiver la terre, ou la culture de la terre elle-même*.

Ces définitions donnent à l'agronomie et à l'agriculture un sens fort limité. On peut éventuellement admettre que *l'agriculture* ne concerne vraiment que la culture de la terre, et par là-même les productions végétales, les productions animales relevant alors de l'élevage. Mais il est difficile, par contre, d'admettre que *l'agronomie* soit limitée à la théorie de l'agriculture : l'agronomie couvre en effet tout ce qui a trait à la fois aux *productions végétales* et aux *productions animales*, qui sont d'ailleurs indissociables à ce niveau.

Peut-être est-il bon de préciser en outre que l'agronome ne s'intéresse pas seulement aux productions végétales et animales traditionnelles ? Il s'occupe également des élevages intensifs modernes (poules pondeuses, poulets de chair, etc.), des cultures les plus intensives (cultures sous verre notamment), des productions forestières, des problèmes d'économie et de sociologie rurales, de la mécanisation agricole, des constructions rurales, des améliorations foncières, etc.

Enfin, en raison notamment de la structure de l'enseignement et de la recherche agronomique, les *industries agricoles et biologiques* sont en général étroitement associées à l'agronomie proprement dite. Il s'agit à la fois des industries qui se situent en amont de l'agriculture et de l'élevage, en leur fournissant certaines matières premières (engrais, produits phytosanitaires, aliments pour le bétail, etc.), et des industries qui se situent en aval, en utilisant ou en transformant les produits de l'agriculture et de l'élevage (industries de conservation, notamment par le froid, industries de fermentation, industries du bois, etc.).

4. Quelques possibilités d'utilisation de la recherche opérationnelle en agronomie.

La recherche opérationnelle et l'agronomie étant ainsi définies, autant qu'il est possible de le faire en quelques lignes, nous pouvons mieux voir comment l'une peut rendre service à l'autre.

Jusqu'à présent, la principale intervention de la recherche opérationnelle en agronomie a toujours eu trait à la *gestion des exploitations agricoles*, et plus particulièrement au *choix des productions ou des spéculations*. Ce choix peut en effet être réalisé ou orienté par la programmation linéaire.

Le problème se pose généralement de la manière suivante. Etant donné n spéculations possibles, quelles quantités x_1, x_2, \dots, x_n doit-on produire, de manière à assurer le maximum de la fonction :

$$y = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n,$$

tout en satisfaisant des relations du type :

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{cases}$$

et

$$\begin{cases} x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \\ \vdots \\ x_n \geq 0. \end{cases}$$

Les coefficients c_1, \dots, c_n sont des revenus nets unitaires ou des revenus marginaux relatifs aux différentes spéculations, la fonction économique $y(x_1, \dots, x_n)$ définissant donc le revenu net total ou le revenu marginal. Les m premières contraintes sont liées aux différents facteurs de production (superficie, bâtiments, traction, main-d'œuvre, etc.), ou à d'autres restrictions éventuelles (rotation notamment) ; les valeurs b_1, \dots, b_m sont les disponibilités correspondantes et les coefficients a_{ij} ($i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$) sont des coefficients de transformation. La première contrainte pourrait être par exemple une contrainte de superficie, b_1 étant alors la superficie totale disponible, et a_{11}, \dots, a_{1n} les superficies nécessaires pour produire une unité de chacune des productions. Enfin, les n dernières contraintes ont trait au fait que les productions sont des quantités essentiellement non-négatives.

Grâce à la *méthode du simplexe*, la résolution d'un problème semblable à celui qui vient d'être posé ne soulève guère de difficultés. La programmation linéaire se présente ainsi comme le prolongement logique des méthodes budgétaires qui sont couramment utilisées en matière de gestion des exploitations agricoles (BOUSSARD, 1964 ; LEDENT, 1961 ; MARTENS, 1966).

Indépendamment de son intervention dans le choix des spéculations, et généralement *avant* de réaliser ce choix, la programmation linéaire peut aussi être utilisée dans la détermination des meilleures *conditions de production* relatives à *une* spéculation donnée. Des exemples d'application ont été publiés en ce qui concerne notamment la détermination des rations alimentaires, le choix des fumures, le choix des périodes de production en culture sous verre, la fixation de l'âge de réforme des vaches laitières ou des poules pondeuses, le calcul de réseaux d'irrigation, etc. Dans les problèmes de *rations alimentaires* par exemple, la fonction économique, à minimiser, fait intervenir les prix unitaires c_1, \dots, c_n des différents ingrédients ou des différentes matières premières utilisables et les quantités correspondantes x_1, \dots, x_m , tandis que les contraintes ont trait à la fois aux quantités disponibles et à la nécessité d'assurer une richesse minimale en certains éléments (protéines, graisses, cellulose, etc.). Certains des coefficients a_{ij} sont donc relatifs à la composition des différents ingrédients.

Toujours à l'échelle de l'exploitation agricole, la recherche opérationnelle permet d'aborder d'autres questions importantes telles que l'augmentation des moyens de production (achat de terres, mécanisation, etc.), la détermination de la dimension optimale des exploitations, la rentabilité de certaines activités non agricoles, etc.

A l'échelle macroéconomique, la programmation linéaire et la théorie des jeux peuvent servir à résoudre des problèmes de *compétition interrégionale* et d'introduction de *productions nouvelles*, auxquels sont souvent liées des questions de débouchés et de transport.

Enfin, signalons également les possibilités d'utilisation de la recherche opérationnelle dans le domaine du *stockage* et de la *conservation* des denrées agricoles, souvent éminemment périssables, dans le domaine des *aménagement forestiers* et de la lutte contre les *incendies de forêts*, et dans tout le secteur des *industries agricoles et biologiques*. L'industrie laitière, par exemple, permet de rencontrer la plupart des problèmes de recherche opérationnelle : problèmes de transport en ce qui concerne le ramassage du lait, problèmes de stockage à l'arrivée à la laiterie, problèmes de planning en ce qui concerne le traitement ou la transformation du lait, problèmes d'usure et de remplacement des équipements, problèmes de stockage et de transport également en ce qui concerne la distribution et la vente des produits traités.

On trouvera de nombreuses *références* relatives aux diverses possibilités d'application de la recherche opérationnelle en agronomie dans l'ouvrage de MAINIE (1965), spécialement consacré à la programmation linéaire et à la

théorie des jeux, ainsi que dans les rapports de FRENCH et al. (1958), de SLATER (1964) et de WEINSCHENCK (1964). D'autre part, nous croyons utile de signaler ici l'existence d'un traité de programmation linéaire particulièrement orienté vers les problèmes agricoles (HEADY et CANDLER, 1958).

5. Les difficultés propres aux applications agronomiques de la recherche opérationnelle.

Les difficultés d'utilisation de la recherche opérationnelle sont de plusieurs ordres : les unes sont liées à la nature des modèles utilisés, les autres à la nature des données qui y interviennent. D'autre part, ces difficultés peuvent être tout à fait générales, ou propres à un domaine d'application donné.

Nous nous efforcerons de mettre ici l'accent sur les *difficultés propres au domaine agronomique*, et sur des *difficultés plus générales, qui prennent dans ce domaine une importance considérable*.

En ce qui concerne les *modèles utilisés*, nous considérerons à titre d'exemple le cas le plus courant : celui de la programmation linéaire. Les principales hypothèses de base sont l'existence d'un nombre fini d'activités possibles (nombre fini de spéculations par exemple), la linéarité et l'additivité du modèle (impliquant notamment la constance des revenus nets unitaires et des différents coefficients de transformation), et la divisibilité de toutes les activités et de toutes les disponibilités. Ces hypothèses ne peuvent évidemment conduire qu'à une image simplifiée de la réalité : il est bien évident par exemple que, pratiquement, les terres dont on dispose ne peuvent pas être subdivisées à l'extrême et que, notamment pour de petites surfaces, les revenus ne sont pas proportionnels aux superficies cultivées. Il n'empêche que les modèles linéaires donnent généralement une image satisfaisante de la réalité. De plus, certaines améliorations peuvent être apportées par l'utilisation de la *programmation en nombres entiers* ou de la *programmation non linéaire* : l'une permet d'éliminer l'hypothèse de divisibilité, l'autre permet de réduire les inconvénients de l'hypothèse de linéarité, en introduisant par exemple des fonctions économiques du deuxième degré.

En ce qui concerne les *données*, la principale restriction provient du fait que les paramètres sont toujours supposés parfaitement connus et constants. Ces paramètres seront, dans un problème de gestion par exemple, des disponibilités en terre, en capital et en main-d'œuvre, des besoins en terre, en capital et en main-d'œuvre, des revenus ou des prix unitaires, etc. D'une manière générale, de telles données ne sont évidemment ni constantes, ni parfaitement connues, et ceci est particulièrement vrai dans le domaine agricole. Très souvent, les quantités produites sont sous la dépendance directe de facteurs clima-

tiques incontrôlables. Les prix de vente peuvent en conséquence varier de façon considérable en quelques jours seulement, et les fluctuations des marges bénéficiaires ou des revenus nets sont souvent plus importantes encore que les fluctuations des prix de vente. De même, les besoins en main-d'œuvre, calculés en général pour certaines périodes de pointe, sont éminemment variables et difficiles à déterminer, et souvent, les durées des périodes de pointe sont elles-mêmes sous la dépendance des facteurs climatiques.

Bien sûr, il est théoriquement possible de tenir compte de la variabilité de certains paramètres, en utilisant par exemple la *programmation stochastique* ou la *programmation paramétrée*, mais les possibilités d'application pratique de ces méthodes sont toujours limitées. Une autre solution en matière de gestion des exploitations agricoles consiste à calculer, non pas un programme unique basé sur des moyennes relatives à plusieurs années, mais une série de programmes annuels, dont la comparaison peut donner des informations intéressantes quant à la stabilité du programme optimal.

Indépendamment des variations et des incertitudes de toutes natures liées notamment aux conditions climatiques et à la variabilité normale de tout matériel biologique, la *production agricole* possède un certain nombre de *caractéristiques propres*, que l'on ne peut en aucune façon négliger quand on veut y introduire la recherche opérationnelle. Dans nos pays, la production agricole est caractérisée tout d'abord par la multiplicité et la diversité des exploitations, généralement de petite taille : cette multiplicité et cette diversité rendent très aléatoire l'utilisation de moyennes, de normes, etc. D'autre part, l'agriculture et l'élevage sont caractérisés par des cycles de production relativement longs, de l'ordre au moins de plusieurs mois. Certaines spéculations animales et végétales s'étalent même sur plusieurs années, sans compter les décisions à plus long terme encore qu'impliquent nécessairement les rotations de culture. Enfin, il faut signaler l'existence de différences importantes entre les divers secteurs de la production agricole : certains secteurs par exemple sont très efficacement protégés de la concurrence extérieure, alors que d'autres le sont moins ou ne le sont pas du tout.

Cette hétérogénéité des conditions de production et la connaissance encore très insuffisante des processus de production font que la principale entrave à l'introduction des méthodes de recherche opérationnelle en agriculture semble devoir être l'insuffisance de données de qualité. Toutes les sources de variabilité et d'incertitude que nous avons évoquées doivent nous rappeler en permanence la nécessité d'une *interprétation des résultats* qui nous sont donnés par les méthodes de recherche opérationnelle : ces méthodes ne sont nullement des méthodes de décision, mais bien des méthodes de *préparation* des décisions. La décision finale revient toujours à l'homme, et non pas à la

machine ou au modèle mathématique qu'il s'est adjoint pour l'aider. Et cette décision finale ne devra pas être prise en fonction seulement de la recherche d'un optimum, toujours aléatoire et souvent artificiel, mais en tenant compte aussi des *risques* inhérents à la recherche d'un tel optimum.

Les hypothèses de base et les difficultés propres aux applications agronomiques de la recherche opérationnelle sont discutées notamment par GERVAIS et al. (1963), MAINIE (1965) et MAZOYER (1963a et 1963b).

6. Conclusions.

Il est dit, dans l'introduction à l'excellent livre de KAUFMANN (1959), que « *le développement des recherches d'économie d'entreprise implique plusieurs conditions :*

- *d'abord, une documentation abondante ... ;*
- *ensuite, la possibilité de dialogues féconds ... ;*
- *enfin, des méthodes d'approche et de recherches ... ».*

On pourrait y ajouter :

- *des moyens de calculs relativement importants,*
- de telle sorte que cette affirmation soit parfaitement applicable à l'utilisation de la recherche opérationnelle dans le domaine agronomique.

S'il fallait établir un ordre de priorité parmi ces exigences, nous mettrions volontiers en tête la possibilité de dialogues. De plus en plus, la recherche opérationnelle, voire la recherche tout court, doit être l'œuvre d'une équipe, et il est indispensable ici que mathématiciens, économistes et ingénieurs agronomes de la recherche et de la pratique se comprennent parfaitement.

Cette compréhension est aussi un préalable à toute autre condition. Le dialogue doit notamment permettre au mathématicien de se rendre compte que le problème qui lui est posé par l'agronome n'est pas un problème comme les autres, en raison précisément des caractéristiques propres au secteur agricole. De même, le mathématicien doit admettre également que les préoccupations de son collègue agronome concernent essentiellement la collecte d'informations suffisamment nombreuses et précises, et l'interprétation des résultats obtenus. D'autre part, il faut évidemment que l'agronome connaisse suffisamment bien les méthodes et les moyens de calcul qui sont mis en œuvre, sans se soucier cependant outre mesure de la recherche de méthodes ou de modèles nouveaux, et sans surestimer l'importance des problèmes de calcul.

La recherche opérationnelle implique donc, surtout dans le domaine agronomique, un minimum de moyens relativement diversifiés, permettant de franchir sans heurts les diverses étapes à parcourir : définition exacte du problème posé et choix d'une méthode adéquate, collecte et préparation des données, calcul et interprétation des résultats. C'est dire que la recherche opérationnelle ne peut guère intervenir dans le secteur agricole que par l'intermédiaire de centres de recherche ou de planification.

Mais, si les conditions d'emploi de la recherche opérationnelle sont assez strictes, il ne faut cependant pas en conclure que son utilisation soit sans intérêt pratique. Bien au contraire, *dans les conditions qui viennent d'être définies, la recherche opérationnelle peut certainement rendre de grands services à l'agriculture, au sens le plus large.*

7. Références.

- BOUSSARD, J.M. : Réflexions sur les méthodes de gestion en agriculture. *Gestion* 7, 507-519, 1964.
- Centre d'Etudes de Recherche Opérationnelle. *Problèmes et techniques de la recherche opérationnelle*. Bruxelles, Office Belge pour l'Accroissement de la Productivité, 1960, 126 p.
- CHURCHMANN, C.W. ; ACKOFF, R.L. et ARNOFF, E.L. : *Eléments de recherche opérationnelle* (Trad. : J. LAVALT). Paris, Dunod, 1961, 572 p.
- FRENCH, C.E. ; SNODGRASS, M.M. et SNYDER, J.C. : Applications of operations research in farm operations and agricultural marketing. *Oper. Res.* 6, 766-775, 1958.
- GERVAIS, M. ; NICOLAS, P. et SERVOLIN, C. : Programmation linéaire et agriculture. *Gestion* 6, 651-657, 1963.
- HEADY, E.O. et CANDLER, W. : *Linear programming methods*. Ames, Iowa State College Press, 1958, 597 p.
- KAUFMANN, A. : *Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle* (2 vol.). Paris, Dunod, 1959 et 1964, 534 + 543 p.
- KAUFMANN, A. et FAURE, R. : *Invitation à la recherche opérationnelle*. Paris, Dunod, 1963, 294 p.
- LEDENT, A. : Les méthodes de gestion des exploitations agricoles. *Ann. Gembloux* 67, 198-219, 1961.
- MAINIE, P. : *Calcul économique en agriculture*. Paris, Dunod, 1965, 183 p.
- MARTENS, L.R. : *Vergelijkende studie van methodes van landbouwbedrijfsplanning*. Gent, Rijksfaculteit der Landbouwwetenschappen, 1966, 244 p.
- MAZOYER, M. : Les modalités d'application de la recherche opérationnelle en agriculture. *Rev. Franç. Rech. Opér.* 27, 107-129, 1963a.

- MAZOYER, M. : Recherche opérationnelle en agriculture, oui ou non ? *Metra* 11, 145-160, 1963b.
- Mc CLOSKEY, J.F. et TREFETHEN, F.N. : *Introduction à la recherche opérationnelle*. (Trad. : M. VERHULST et J. LAVAUULT). Paris, Dunod, 1958, 206 p.
- SLATER, J.K.W. : Agriculture. In : D.B. HERTZ et R.T. EDDISON. *Progress in operations research*. (Vol. II). New York, Wiley, 1964, p. 365-372.
- WEINSCHENCK, G. : Applications récentes des recherches quantitatives en économie rurale. *Conf. Intern. Econ. Rur.*, Lyon, 1964, 26 p.