

Université Assane SECK de Ziguinchor



Unité de Formation et de
Recherche des Sciences et
Technologies

Département d'Informatique

Introduction à la RO

Novembre 2022

©Youssou DIENG

ydieng@univ-zig.sn

1 - INTRODUCTION

Dans ce cours de recherche opérationnelle, on cherche à initier les étudiants à une approche quantitative permettant de produire de meilleures décisions. Nous présentons des outils pour rationaliser, simuler et optimiser l'architecture et le fonctionnement des systèmes industriels et économiques. Nous proposons aussi des modèles (tels que les graphes) pour analyser des situations complexes pour permettre aux décideurs de faire des choix efficaces et robustes. En effet, la recherche opérationnelle est une discipline qui exploite des méthodes et outils mathématiques, l'économie et l'informatique pour aider les décideurs à faire les meilleurs choix.

Les apports de la RO sont visibles partout : de l'organisation des lignes de production d'automobiles à la planification des missions spatiales, de l'optimisation des portefeuilles bancaires à l'aide au séquençage de l'ADN, mais aussi dans la vie de tous les jours pour le recyclage des déchets, l'organisation des ramassages scolaires, les emplois du temps des infirmières ou la couverture satellite des téléphones portables. De plus, l'utilité et les champs d'exploitation n'ont fait que croître au fil des décennies, aidée en cela par les progrès dans les mathématiques et les techniques d'optimisation, ainsi que par l'explosion des possibilités offertes par les technologies de l'information.

Le transport aérien est une parfaite illustration de l'importance que revêt la recherche opérationnelle dans nos stratégies économiques. La RO a été au centre de la révolution des compagnies aériennes dans les vingt dernières années avec des approches sophistiquées d'adaptation des prix à la demande.

La recherche opérationnelle (RO) peut être définie comme étant la mise en œuvre de méthodes scientifiques, essentiellement mathématiques, en vue de prendre la meilleure décision possible.

La programmation linéaire, en variables réelles ou entières, est intimement liée à l'histoire de la recherche opérationnelle puisque c'est à la suite de la création de la première méthode de résolution efficace de programmation linéaire, à savoir l'algorithme du simplexe en 1947, que s'est développée la RO. Elle consiste à minimiser (ou maximiser) une fonction linéaire sous des

contraintes également linéaires, ce qui, en pratique, permet de modéliser un grand nombre de situations.

Aux côtés de la programmation linéaire figure la *théorie des graphes* qui offre également des possibilités de modélisation très riches (plus courts chemins, flux de transports...). Ainsi, les graphes sont très fréquemment utilisés pour représenter un réseau mais leur utilisation dépasse largement le seul cadre de ces problèmes (le graphe de précedence en ordonnancement est un exemple parmi d'autres).

La programmation linéaire et les principaux algorithmes de graphes sont souvent enseignés dans les parcours mathématiques ou informatiques des universités et grandes écoles. Ils sont souvent complétés par d'autres notions théoriques comme la théorie de la complexité qui permet d'avoir une meilleure compréhension des problèmes qui peuvent être résolus efficacement.

Au-delà de ces concepts de base, de nombreuses autres techniques sont régulièrement utilisées par l'expert en RO, la plupart d'entre elles faisant l'objet de recherches actives. Ainsi, la programmation mathématique englobe les différentes généralisations de la programmation linéaire (fonction ou contraintes non linéaires, multi-objectif, stochastique, dimension infinie...).

Le calcul informatique est nécessaire pour résoudre pratiquement, c'est-à-dire numériquement, les problèmes posés. Ainsi, la notion de temps de calcul est centrale dans le développement et la mise au point d'un algorithme de RO.

Nous avons à ce titre déjà mentionné la théorie de la complexité. Cette dernière définit la classe des problèmes NP-difficiles à laquelle appartiennent la plupart des problèmes pratiques de la RO. Comme il semble peu probable de pouvoir résoudre efficacement ces problèmes de manière exacte, les informaticiens ont développé un grand nombre de méthodes permettant d'obtenir, en des temps de calcul raisonnables, de bonnes solutions à ces problèmes. Beaucoup de ces méthodes sont génériques même si, dans la plupart des cas, un travail conséquent est nécessaire pour mettre en œuvre de manière performante une telle méthode sur un problème donné.

La connaissance des « problèmes métiers » est en effet la troisième composante à maîtriser pour le spécialiste de RO. Dans l'enseignement de la discipline, elle transparaît sous la forme d'une

collection de problèmes qui viennent illustrer les mises en oeuvre des techniques de modélisation ou de résolution algorithmique. Ces problèmes simplifient, parfois outrageusement, la réalité des problèmes rencontrés en pratique mais permettent de représenter les grandes classes de problèmes de référence et d'aiguiser les réflexions non seulement des étudiants mais également des chercheurs universitaires.

2 - LES PROBLÈMES MÉTIERS

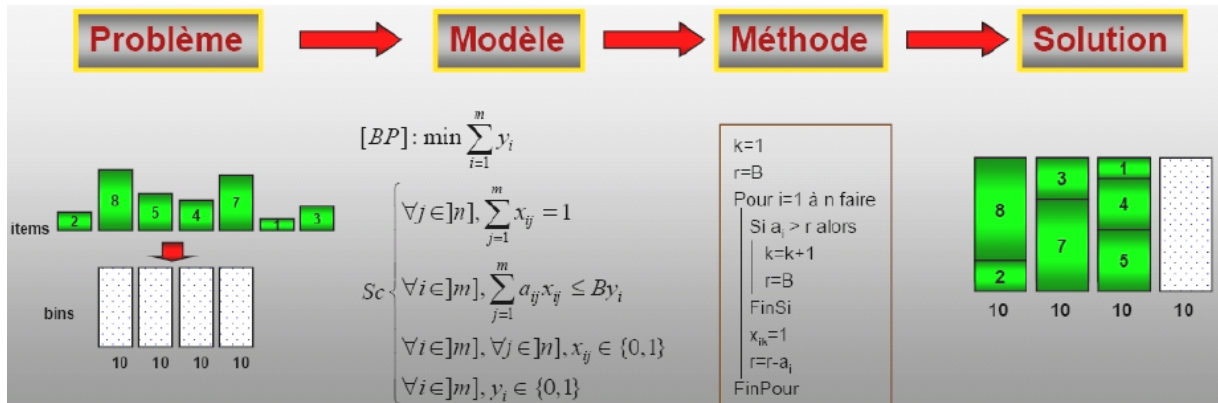


Figure 1 : Le « Bin Packing » ou comment utiliser le moins de boîtes possibles pour y loger des objets.

Le calcul informatique est nécessaire pour résoudre pratiquement, c'est-à-dire numériquement, les problèmes posés. Ainsi, la notion de temps de calcul est centrale dans le développement et la mise au point d'un algorithme de RO. Nous avons à ce titre déjà mentionné la théorie de la complexité. Cette dernière définit la classe des problèmes NP-difficiles à laquelle appartiennent la plupart des problèmes pratiques de la RO. Comme il semble peu probable de pouvoir résoudre efficacement ces problèmes de manière exacte, les informaticiens ont développé un grand nombre de méthodes permettant d'obtenir, en des temps de calcul raisonnables, de bonnes solutions à ces problèmes. Beaucoup de ces méthodes sont génériques même si, dans la plupart des cas, un travail conséquent est nécessaire pour mettre en oeuvre de manière performante une telle méthode sur un problème donné.

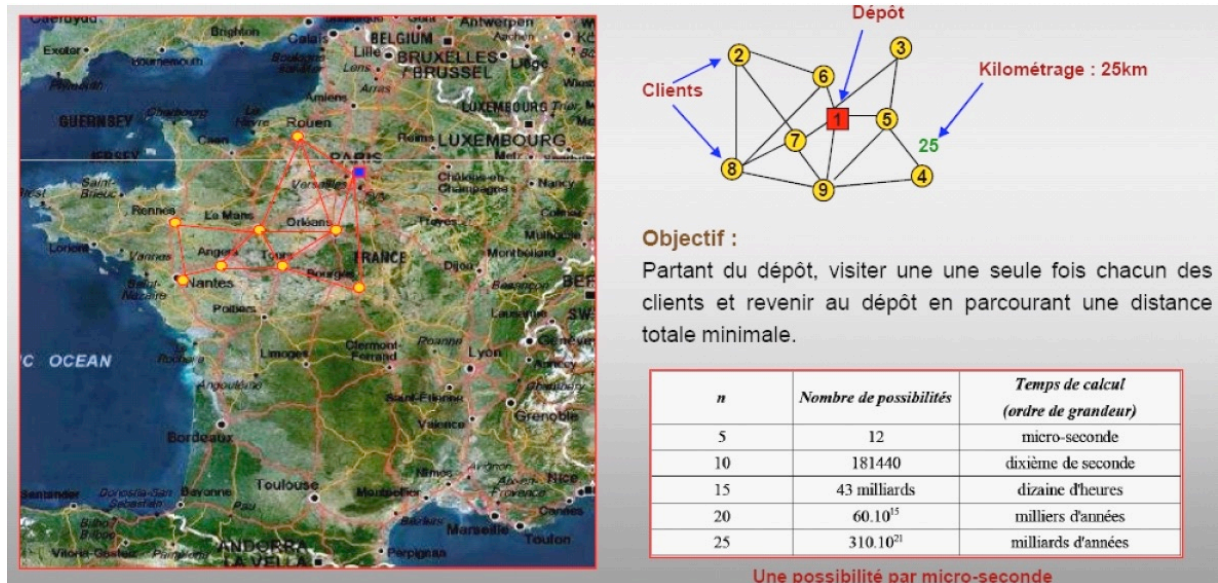


Figure 2 : Figure 2 : Le « voyageur de commerce » doit visiter chaque ville mais minimiser la

Le problème du voyageur de commerce, qui consiste à trouver le plus court chemin passant une fois par chacune des villes données, est la vision épurée des problèmes de tournées de livraison ou de collecte. Plusieurs décennies de recherche sur ce problème ont permis à la fois de résoudre de manière exacte des problèmes de taille très importante (quelques milliers de villes) mais aussi d'inventer de nouvelles techniques algorithmiques utiles pour la résolution de nombreux autres problèmes.

Mais, pour qu'une démarche de recherche opérationnelle soit mise en place dans un contexte industriel, la connaissance des contraintes métiers est primordiale pour construire un modèle capable de produire des solutions satisfaisant les « experts du métier » mais aussi, souvent, pour mettre en œuvre les algorithmes les mieux adaptés, par exemple lorsqu'il s'agit de décomposer le problème global. C'est pour cela que plusieurs grands groupes ont des cellules de recherche opérationnelle qui ont une bonne connaissance des techniques de recherche opérationnelle et des métiers du groupe ou que les sociétés de prestation en recherche opérationnelle consacrent beaucoup de temps à spécifier les problèmes avec leurs clients.

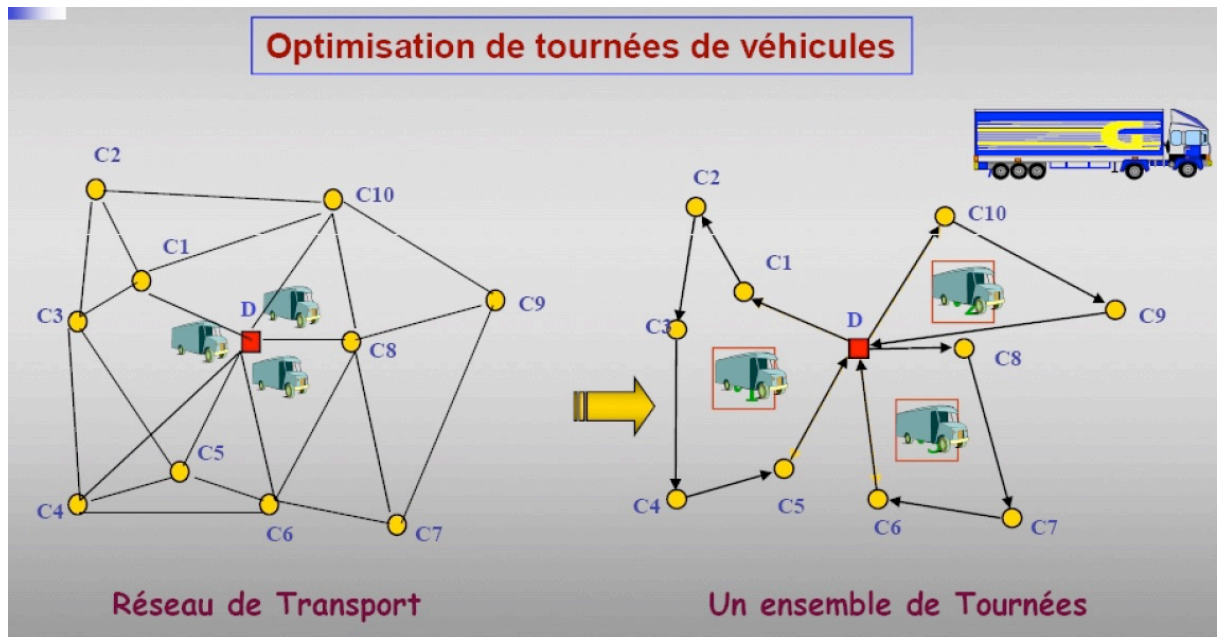


Figure 3 : L'« optimisation des tournées » ou comment couvrir un ensemble de commandes avec un nombre donné de camions et des contraintes horaires.

Toutes ces sources de connaissances se révèlent, à un moment ou à un autre, utiles pour la mise en place de méthodes et d'outils d'aide à la décision au sein d'une organisation. Elles ne sont bien sûr pas les seules car la RO, comme les autres disciplines scientifiques, a des liens forts avec les autres sciences, notamment pour bâtir des modèles et les alimenter en données fiables.

L'expert ou le chercheur en RO, dans son travail quotidien, vise à améliorer un résultat théorique, la qualité d'une implantation informatique ou la pertinence d'un modèle métier mais tous les chercheurs opérationnels ont à l'esprit qu'une méthode ou une astuce de modélisation développée pour un modèle donné pourra être utilisée dans le cadre d'un autre problème. En d'autres termes, la recherche opérationnelle provient des applications et est destinée à ces applications.

OPTIMISER DES CRITERES
C'EST DE L'OPTIMISATION



OPTIMISER TOUS LES CRITERES
C'EST ...



3 - LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE DANS LES ENTREPRISES

La recherche opérationnelle est largement utilisée par les entreprises, mais avec des modes de fonctionnement et d'organisation très divers : certains grands groupes ont des entités spécifiques, souvent rattachées à la R&D, destinées à traiter des problématiques de recherche opérationnelle comme l'amélioration de l'efficacité de la production ou de la qualité du service rendu aux clients. Très souvent, ces entités sont en contact étroit, d'une part avec le monde académique pour suivre les dernières évolutions des techniques d'optimisation, et d'autre part avec des SSII spécialisées dans la recherche opérationnelle et susceptibles de fournir des outils performants d'optimisation plus ou moins génériques. Les autres entreprises, en particulier celles de plus petite taille qui n'ont pas les moyens de maintenir de façon durable une expertise interne en recherche opérationnelle, font soit appel à ces SSII spécialisées (ou à des laboratoires académiques) pour sous-traiter la résolution des problèmes de RO, soit Actuellement, les techniques de recherche opérationnelle sont utilisées par les entreprises à différents niveaux : à un niveau global, pour des problèmes d'aide à la décision concernant, par exemple, des investissements, des changements structurels, mais aussi à un niveau plus détaillé, pour des processus industriels complexes faisant intervenir des quantités importantes de ressources ou nécessitant une modélisation

fine de mécanismes élaborés. Parmi les domaines industriels qui génèrent de nombreux problèmes de RO, on peut citer :

- les problèmes de transport, où il faut définir des réseaux et des plans d'acheminement pour des personnes, des marchandises, ou des ressources telles que l'énergie ou les communications,
- les problèmes de logistique et de traitement des stocks, où il faut séquencer des traitements (ordonnancement) de manière à minimiser les temps et les stocks intermédiaires,
- les problèmes de planification de l'utilisation des ressources, où il faut proposer des grilles horaires permettant de réaliser des tâches tout en respectant la législation du travail.

Les évolutions récentes de l'écosystème socio-économique ont fait émerger de nouvelles thématiques ou remis sur le devant de la scène des domaines sur lesquels la recherche opérationnelle pourrait apporter un éclairage et des outils d'optimisation :

- l'optimisation robuste s'est considérablement développée ces dernières années, comme une alternative à la programmation stochastique, pour prendre en compte de manière non empirique les incertitudes sur les données définissant les problèmes de recherche opérationnelle « classiques »,
- l'optimisation on line et distribuée qui doit permettre à des systèmes décentralisés de prendre des décisions rapidement (au fur et à mesure de l'arrivée de nouvelles demandes) et avec une connaissance partielle de l'environnement (la connaissance globale et en temps réel d'un système complexe est trop coûteuse à maintenir),
- l'optimisation au service de la fouille de données (data mining) et, inversement, l'intégration de la fouille de données pour le calibrage et la validation des modèles de RO,
- l'optimisation au service des modèles économiques et tarifaires, qui est un sujet certes très ancien mais dont les applications sont plus que jamais indispensables pour mieux appréhender les grands équilibres des marchés et pour définir des modèles de tarification évolutifs et adaptés à la demande (yield management),
- l'aide à la décision collaborative, quand plusieurs acteurs/décideurs doivent se prononcer conjointement sur un problème qui se caractérise souvent par plusieurs critères (analyse multicritère).

Il reste également de gros progrès à faire sur le transfert de l'expertise recherche opérationnelle sur les problématiques opérationnelles, c'est-à-dire comment utiliser au mieux des connaissances théoriques pointues pour résoudre un problème opérationnel dans des conditions opérationnelles (délais courts pour développer la méthode/l'outil, souvent temps et moyens de calcul limités, niveau de précision de la solution...).

Les freins encore souvent observés actuellement lors de la mise en œuvre de la recherche opérationnelle pour la résolution de problématiques industrielles pénalisent à la fois les industriels qui ne bénéficient pas pleinement de l'énorme potentiel de cette discipline, mais

aussi le milieu académique, dont l'impact pratique des travaux de recherche n'est pas toujours reconnu à sa juste valeur.

