

Introduction

Le général Eisenhower déclara : « La logistique influence toutes les batailles – elle est même souvent décisive ». Le terme de logistique a été introduit par le génie militaire comme l'activité qui garantit l'approvisionnement des troupes dans l'espace et le temps, afin de préserver toutes leurs capacités opérationnelles.

La logistique s'est progressivement imposée dans le monde industriel dès sa révolution au cours du XIX^e siècle pour être aujourd'hui un levier essentiel pour la compétitivité des entreprises.

Comment optimiser sa logistique ?

Maîtriser ses flux, piloter et structurer son activité logistique, tels sont les enjeux de la gestion de la chaîne logistique (*Supply Chain Management* ou SCM dans la littérature anglo-saxonne). Pour cela, de nombreux outils ont été développés dans divers domaines (gestion de la production, des stocks, de l'approvisionnement, de l'information, etc.).

Ces outils sont de natures différentes. Ils peuvent être organisationnels (*Lean Manufacturing*, Kanban, Juste-à-temps, etc.) ou liés à la gestion et à l'exploitation des données (*Entreprise Resource Planning*, *Advanced Planning and Scheduling*, échange de données informatisé, etc.). C'est dans cette dernière catégorie et, plus spécifiquement dans les *outils d'aide à la décision*, que se situe le périmètre de cet ouvrage et à la discipline auxquels ils appartiennent : la *recherche opérationnelle* (RO).

Robert Faure, un des pionniers de la recherche opérationnelle en France, définit sa discipline comme étant l'« ensemble des méthodes et techniques rationnelles d'analyse et de synthèse des phénomènes d'organisation utilisables pour élaborer de

meilleures décisions ». L'avènement de l'informatique, qui a révolutionné notre façon de penser et grâce à laquelle la recherche opérationnelle s'est structurée, a permis d'aborder la logistique avec une approche quantitative.

Depuis lors, les problèmes logistiques ont été spécifiés, modélisés, étudiés. Pourtant, certains d'entre eux puisent leurs racines plusieurs siècles en arrière dans un temps où la logistique en était encore à ses premiers balbutiements. Ils titillaient déjà l'esprit de mathématiciens talentueux, sous la forme de multiples casse-têtes et autres défis mathématiques qu'ils lançaient à la face du monde.

C'est d'autant plus rendre hommage à tous ces pionniers de constater que certains de ces problèmes nous résistent encore. Peut-être ces problèmes résistent-ils aux mathématiques elles-mêmes ? Les scientifiques actuels les ont classés en deux grandes catégories que je résumerai ainsi : les problèmes « faciles » et les problèmes « difficiles ».

J'ai coutume de dire à mes étudiants que la dernière personne à laquelle il faut faire confiance est son professeur de recherche opérationnelle. Prononcés par sa bouche, les termes « facile » et « difficile » sont bien loin de leur signification première. Ainsi, un problème qu'il qualifiera de « facile » pourra s'avérer délicat à résoudre pour le non-initié (le problème du *flow-shop* à deux machines). De même, un problème « difficile » pourra sembler aisé de prime abord (le problème du sac à dos). Les deux problèmes cités en exemple n'auront bientôt plus de secrets pour vous !

Pour faire simple, les problèmes « faciles » regroupent l'ensemble des problèmes d'optimisation combinatoire¹ pour lesquels on connaît un algorithme de résolution efficace. Il est entendu par-là que le nombre de calculs à effectuer est une fonction polynomiale de la taille du problème. Ces problèmes appartiennent à la classe P des problèmes dits polynomiaux. Par opposition, on dit qu'un problème est « difficile » lorsque les seuls algorithmes connus pour les résoudre sont en un temps exponentiel. Ces problèmes appartiennent à la classe NP et seront dits non polynomiaux.

La communauté scientifique pense majoritairement que si on ne connaît pas de méthodes de résolution efficaces pour résoudre un problème de classe NP, c'est tout simplement parce qu'il n'en existe pas ! Cette question, issue de la théorie de la complexité, est connue sous l'intitulé de problème P=NP. C'est un problème qui

1. Un problème d'optimisation combinatoire consiste à rechercher la meilleure solution parmi un ensemble fini mais très grand de solutions. Une définition plus formelle est proposée dans le chapitre 3. Tous les problèmes logistiques que nous rencontrerons dans ce livre appartiendront à cette catégorie de problèmes.

reste ouvert à ce jour et qui est classé par l'institut de mathématique Clay parmi les 7 problèmes du prix du millénaire. Un prix de 1 000 000 \$ est offert à quiconque fera ce problème.

Comme toujours en mathématiques, lorsqu'un problème est trop difficile pour pouvoir être résolu, des méthodes approchées sont mises en place. Les métaheuristiques, qui constituent une famille de méthodes génériques, appartiennent à cette catégorie. Elles ont su montrer depuis plusieurs décennies leurs capacités à résoudre des problèmes d'optimisation difficile.

Découvrir ces méthodes, voir concrètement comment elles peuvent s'appliquer à des problèmes logistiques, comprendre les réponses qu'elles peuvent apporter pour optimiser quantitativement le fonctionnement d'une chaîne logistique, tels sont les buts qui seront poursuivis tout au long de ces pages.

Pour cela, cet ouvrage est composé de 3 parties et 12 chapitres.

La première partie s'intitule « Notions de base ». Elle permet de poser un certain nombre de fondements, aussi bien au niveau des problèmes logistiques que des méthodes d'optimisation. Elle comprend les chapitres 1 à 4.

Le chapitre 1 présente un certain nombre de problèmes logistiques, sous la forme d'exercices tirés de la vie courante et qui offrent une première approche ludique du domaine. Des réponses détaillées et commentées sont proposées dans le dernier chapitre du livre.

Le chapitre 2 dresse un inventaire méthodique des problèmes logistiques, en mettant l'accent sur leur diversité et la richesse des réponses qu'ils apportent à un grand nombre de secteurs logistiques. Une présentation formelle de chacun de ces problèmes est proposée sous la forme d'un programme linéaire. Cette forme de modélisation mathématique, si elle peut paraître austère, peut contenir néanmoins des informations utiles pour la conception des métaheuristiques.

Le chapitre 3 est une introduction aux métaheuristiques. Le cadre applicatif de ces méthodes et les concepts généraux sont présentés. Quelques métaheuristiques sont ensuite détaillées en mettant l'accent sur l'historique, sur les concepts qui les rapprochent ou les éloignent les unes des autres, sur leurs avantages et leurs inconvénients.

Le chapitre 4 est un premier exemple concret d'application des métaheuristiques. Une implémentation détaillée, progressive et commentée est proposée pour une catégorie importante de problèmes d'optimisation : les problèmes de permutation.

Ce premier travail sur les métaheuristiques permettra de développer une bibliothèque d'outils, adaptables à de nombreux problèmes logistiques et capables de fournir des résultats tout à fait acceptables.

La deuxième partie, aussi surprenant que cela puisse paraître, a pour titre « Notions avancées ». L'objectif de cette partie est de proposer un certain nombre d'outils plus sophistiqués, qui vont permettre d'améliorer la performance des métaheuristiques. Cette partie contient les chapitres 5, 6 et 7.

Le chapitre 5 est entièrement consacré au problème emblématique du voyageur de commerce. Sur ce problème de permutation, les métaheuristiques peuvent gagner en efficacité si elles intègrent des mécanismes plus élaborés. Par le prisme de travaux importants de la littérature, certains de ces mécanismes seront décortiqués, dont par exemple la recherche à voisinage variable ou les chaînes d'éjection.

Le chapitre 6 résume des travaux de recherche que nous avons menés, dont le but était d'adapter les mécanismes du chapitre précédent pour le problème du *flow-shop* de permutation. Ce problème est également, comme son nom l'indique, un problème de permutation.

Le chapitre 7 a pour objectif d'élargir notre réflexion aux autres problèmes logistiques qui ne sont pas de permutation. Deux approches générales sont confrontées : l'approche indirecte qui consiste à adapter le problème aux métaheuristiques et l'approche directe qui consiste à adapter les métaheuristiques au problème.

La dernière partie s'intitule « Evolutions et tendances actuelles ». L'intérêt des problèmes logistiques s'effrite progressivement devant les besoins actuels de la chaîne logistique. Cette partie a pour vocation de cerner ces besoins et de définir les réponses que pourront offrir les métaheuristiques face à ces nouveaux défis. Elle comprend les chapitres 8 à 12. Le chapitre 12 présente une correction aux problèmes énoncés dans le chapitre 1.

Le chapitre 8 présente la notion de gestion de la chaîne logistique. Les problèmes logistiques seuls ne permettent plus de répondre de manière satisfaisante aux nouveaux enjeux liés à la chaîne logistique. Nous définissons les notions de synchronisation horizontale et verticale afin de mieux cerner les interactions qui existent entre tous ces problèmes.

Le chapitre 9 est de nouveau consacré aux méthodes. Face à l'étude de systèmes de plus en plus complexes, les méthodes de résolution doivent unir leurs efforts. Les notions d'hybridation de méthodes d'optimisation et de couplage entre une méthode d'optimisation et une méthode d'évaluation des performances sont étudiées.

Le chapitre 10 décrit un ensemble de travaux que nous avons réalisés sur les systèmes flexibles de production. Ce cas d'étude permet de montrer les réponses que peut apporter une approche qui combine plusieurs méthodes dans l'étude d'un système complexe.

Le chapitre 11 décrit deux problèmes complexes, construits en combinant deux problèmes logistiques et qui sont de plus en plus présents dans la littérature. Ces problèmes permettent de bien montrer l'intérêt qu'ils peuvent représenter au niveau des prises de décision dans une chaîne logistique. Outre les problèmes, nous décrirons également quelques méthodes de résolution de la littérature.