

Recherche Opérationnelle

Introduction

Sandra U. Ngueveu

INP-ENSEEIH / LAAS-CNRS
sandra.ngueveu@toulouse-inp.fr - ngueveu@laas.fr

2021/2022

Navigation icons

Sandra U. Ngueveu (N7 - LAAS)

R. O. - support de prise de notes - 2A SN

2021/2022

1 / 20

Contexte

Exemple : Planification de maintenance appliquée au réseau ferroviaire français

Optimisation des tournées d'inspection des voies ferrées - SNCF.

Les maintenances préventives sont des **auscultations ultrasoniques** du champignon du rail, qui renseignent sur l'apparition de nouvelles **fissures dans le rail** et permettent de suivre leur évolution. Les fréquences de passages sur les tronçons de voies varient de **6 mois à 10 ans** en fonction principalement du tonnage annuel qui les traverse. Cette maintenance préventive est réalisée à l'aide de trains spécialisés qui surveillent plus de **50.000 km de voies**. Ces engins ne sont pas autorisés à ausculter toutes les parties du réseau, pour des raisons techniques, celles-ci sont auscultées manuellement.

L'usure des voies étant accélérée par la constante augmentation du volume de trafic, les fréquences de surveillance doivent augmenter pour assurer la fiabilité du réseau d'où un **impact important sur le coût**.

Navigation icons

Sandra U. Ngueveu (N7 - LAAS)

R. O. - support de prise de notes - 2A SN

2021/2022

2 / 20

Exemple : Planification de maintenance appliquée au réseau ferroviaire français

Optimisation des tournées d'inspection des voies ferrées - SNCF.

- **Fonction-Objectif** : minimiser
 - la somme des durées des transferts
- **Variables de décision**
- **Contraintes** : données par le cahier des charges

Exemple : Planification de maintenance appliquée au réseau ferroviaire français

Optimisation des tournées d'inspection des voies ferrées - SNCF.

- **Fonction-Objectif** : minimiser
- **Variables de décision**
 - Affectation des tâches aux engins
 - Dates de réalisation
- **Contraintes** : données par le cahier des charges

Exemple : Planification de maintenance appliquée au réseau ferroviaire français

Optimisation des tournées d'inspection des voies ferrées - SNCF.

- **Fonction-Objectif** : minimiser
- **Variables de décision**
- **Contraintes** : données par le cahier des charges
 - Fréquences d'auscultation
 - Caractéristiques des engins
 - ...

Exemple : Planification de maintenance appliquée au réseau ferroviaire français

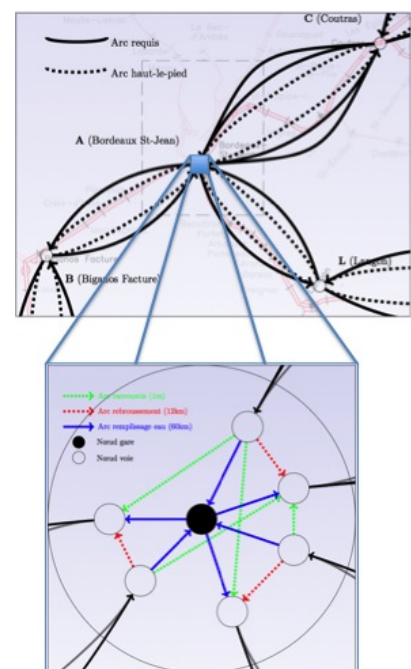
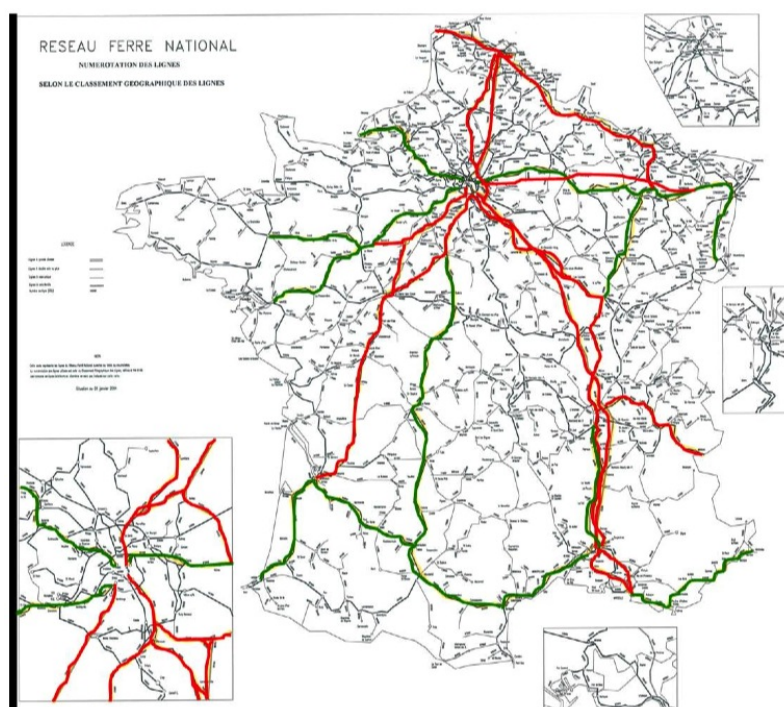
Cahier des Charges : différents types de contraintes

- **Caractéristiques des engins** :
 - vitesse en auscultation, vitesse en transfert
 - autonomie en eau nécessaire à l'auscultation
 - rdvs obligatoires de maintenance
 - tronçons compatibles
- **Contraintes de ressource**
 - interdiction d'auscultation simultanée par plusieurs engins d'une même région...
- **Demandes de ressources des régions qui précisent**
 - les gares et les dates au plus tôt de prise en charge / restitution au plus tard de l'engin

Exemple : Planification de maintenance appliquée au réseau ferroviaire français

- **Ordre de magnitude du problème**
 - 40000 tronçons
 - 30000 sommets
 - Horizon temporel = 365 jours
 - Durée des tâches variant de 30 min à 5 jours

Exemple : Planification de maintenance appliquée au réseau ferroviaire français



Source : S. Lannez, ATMOS 2010

Objectifs du cours

Donner un aperçu de la démarche et d'outils de recherche opérationnelle afin de trouver la meilleure solution parmi un ensemble de solutions possibles pour un problème donné.

L'ensemble des solutions possibles n'est pas donné explicitement mais défini par un ensemble de contraintes : cela relève donc de l'optimisation sous contraintes.

Ces contraintes expriment par exemple les contraintes technologiques, les quantités limitées de ressources disponibles (matérielles, temporelles, humaines, financières, . . .)

Recherche opérationnelle - Aide à la décision (RO-AD)

Définition de la RO (source : livre blanc de la R.O.) : Mise en oeuvre de méthodes scientifiques, essentiellement mathématiques, en vue de prendre la meilleure décision possible.

Domaines : Mathématiques + Algorithmique + Informatique (programmation) + Economie

Outils : prog. linéaire, opt. comb., graphes, simulation, files d'attente, théorie des jeux, ...

Les outils de RO-AD :

- aident à trouver :
 - une solution où l'homme n'en trouvait pas
 - plusieurs solutions là où l'homme n'en envisageait qu'une
 - une solution sur des problèmes nouveaux où l'homme n'a aucune expérience
- aident à juger de la qualité d'une solution

Communautés (francophones) des chercheurs et industriels en R.O.

Société Française de R.O. et A.D. (ROADEF) : www.roadef.org

- FORUM : stages, thèses, offres d'emploi

GdR RO (CNRS) : <http://gdrro.lip6.fr/>

Livre blanc de la R.O. : http://www.roadef.org/pdf/LIVRE_BLANC_A5_juin.pdf

Recherche opérationnelle et "Data analytics"

Des données

- Origines :
 - Capteurs, Téléphones portables, Sites Web,
- Types :
 - Séries numériques, images, textes, vidéos, ...
- Accessibilité :
 - De plus en plus de données ouvertes
 - collectivités locales, gouvernement, ...
- Caractéristiques :
 - Explosion de la quantité de données numériques produites
 - Hétérogénéité des données
 - Protection de la vie privée

Recherche opérationnelle et "Data analytics"

3 niveaux de "data analytics"

- Analyse descriptive (Descriptive Analytics)
 - Extraire des connaissances à partir des données
 - Pourquoi y-a-t-il un bouchon ?

Recherche opérationnelle et "Data analytics"

3 niveaux de "data analytics"

- Analyse descriptive (Descriptive Analytics)
 - Extraire des connaissances à partir des données
 - Pourquoi y-a-t-il un bouchon ?
- Analyse prédictive (Predictive Analytics)
 - Construire des modèles (pour prévoir le futur)
 - Quel sera le trafic dans 1 heure ?

Recherche opérationnelle et "Data analytics"

3 niveaux de "data analytics"

- Analyse descriptive (Descriptive Analytics)
 - Extraire des connaissances à partir des données
 - Pourquoi y-a-t-il un bouchon ?
- Analyse prédictive (Predictive Analytics)
 - Construire des modèles (pour prévoir le futur)
 - Quel sera le trafic dans 1 heure ?

- Analyse prescriptive (Prescriptive Analytics)
 - Assister la prise de décision
 - Quel est le meilleur itinéraire si je pars à 8 :30 ?

Recherche opérationnelle et "Data analytics"

3 niveaux de "data analytics"

- Analyse descriptive (Descriptive Analytics)
 - Extraire des connaissances à partir des données
 - Pourquoi y-a-t-il un bouchon ?
- Analyse prédictive (Predictive Analytics)
 - Construire des modèles (pour prévoir le futur)
 - Quel sera le trafic dans 1 heure ?
- Analyse prescriptive (Prescriptive Analytics)
 - Assister la prise de décision
 - Quel est le meilleur itinéraire si je pars à 8 :30 ?

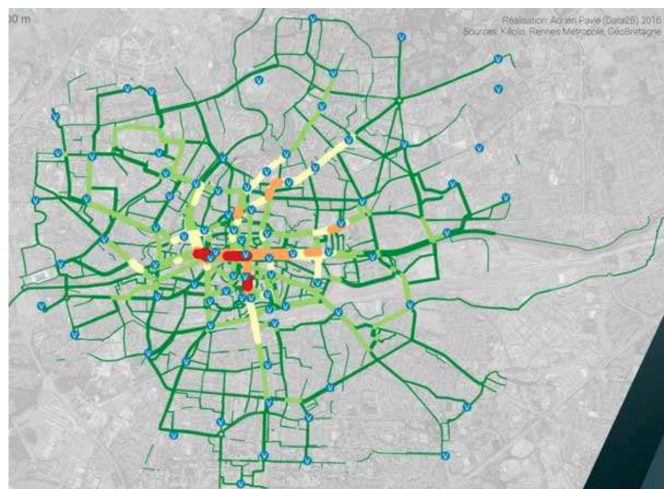
⇒ optimisation / décision / planification

Quelques applications : Villes intelligentes, Environnement, Sciences

Exemple : Gestion des vélo en libre service

Trouver un vélo / Trouver une place dans une station

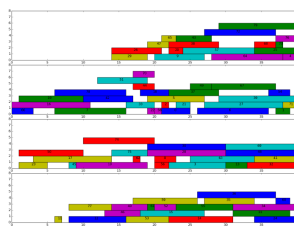
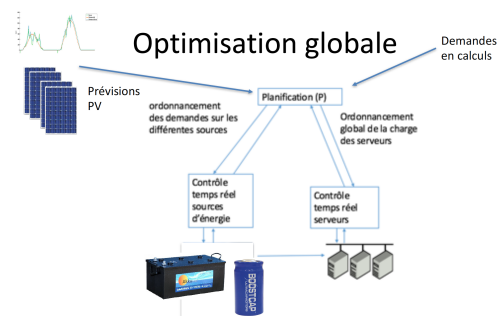
- Modèle d'utilisation des vélos
 - Capteurs sur les vélos
 - Prévisions météo
 - Calendrier
 - Dimensionnement des stations
 - Planification des acheminements
 - Calcul d'itinéraires
 - Aménagements cyclables



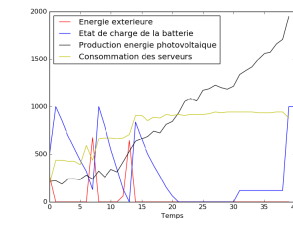
<http://data2b.net/>

Exemple : Optimisation des consommation énergétiques

- Prédiction des demandes calculs
- Disponibilité énergie :
 - Sources énergétiques
 - Météo
- Planifier l'utilisation de l'énergie



(a) Allocation des tâches

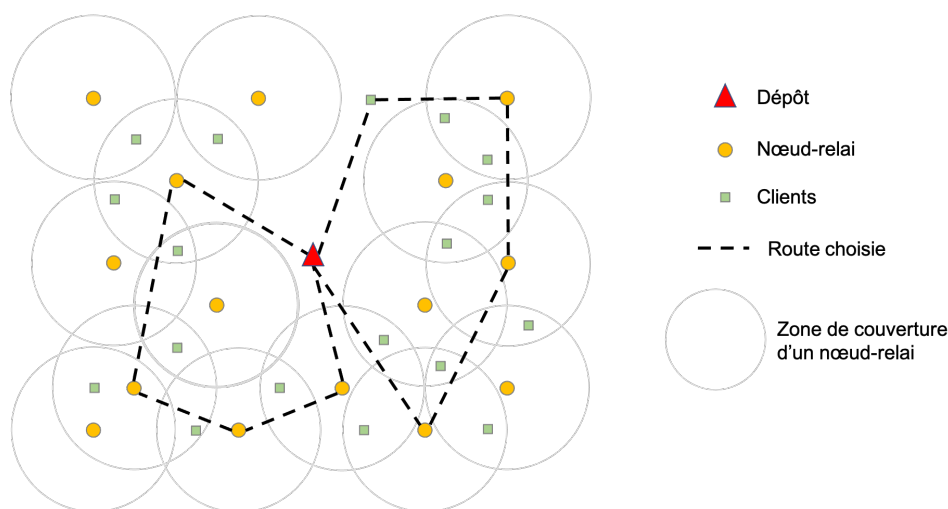


(b) Courbes de consommation et production d'énergie

Projet LAAS -
Optimisation et
énergie 2017

Exemple : gestion d'une chaîne d'approvisionnement

- stratégie d'approvisionnement dans un réseau de transport



- optimiser deux critères contradictoires : la longueur totale des routes choisies et la distance maximale séparant chaque noeud-client non visité du noeud-relai visité auquel il est affecté

Collab. Thèse E. Glize (LAAS) - Vrije Universiteit (Amsterdam) - 2019

Modélisation

Avant de résoudre un problème, il faut le formaliser, le décrire ; i.e., le modéliser sous une forme connue. Pour cela, il faut identifier :

Modélisation

Avant de résoudre un problème, il faut le formaliser, le décrire ; i.e., le modéliser sous une forme connue. Pour cela, il faut identifier :

- les paramètres que l'on ne peut pas maîtriser mais dont on connaît la valeur \Rightarrow les données

Modélisation

Avant de résoudre un problème, il faut le formaliser, le décrire ; i.e., le modéliser sous une forme connue. Pour cela, il faut identifier :

- les paramètres que l'on ne peut pas maîtriser mais dont on connaît la valeur \Rightarrow les **données**
- les paramètres sur lesquels on peut agir ou dont on souhaite déterminer la valeur \Rightarrow les **variables (de décision)**

Modélisation

Avant de résoudre un problème, il faut le formaliser, le décrire ; i.e., le modéliser sous une forme connue. Pour cela, il faut identifier :

- les paramètres que l'on ne peut pas maîtriser mais dont on connaît la valeur \Rightarrow les **données**
- les paramètres sur lesquels on peut agir ou dont on souhaite déterminer la valeur \Rightarrow les **variables (de décision)**
- ce qui permet de comparer les solutions entre elles \Rightarrow la **fonction objectif** ou le critère

Modélisation

Avant de résoudre un problème, il faut le formaliser, le décrire ; i.e., le modéliser sous une forme connue. Pour cela, il faut identifier :

- les paramètres que l'on ne peut pas maîtriser mais dont on connaît la valeur \Rightarrow les **données**
- les paramètres sur lesquels on peut agir ou dont on souhaite déterminer la valeur \Rightarrow les **variables (de décision)**
- ce qui permet de comparer les solutions entre elles \Rightarrow la **fonction objectif** ou le critère
- ce qui limite le choix des valeurs de variables de décision \Rightarrow les **contraintes**

Nous nous focaliserons sur les modèles de type programmes linéaires (PL) et programmes linéaires en nombres entiers (PLNE) :

- Les variables ne peuvent prendre que des valeurs réelles ou entières
- Les contraintes sont linéaires
- La fonction objectif est linéaire

Exemple

Une usine ALPHA produit deux ciments rapportant 50€ et 70€ la tonne. Pour fabriquer une tonne de ciment 1, il faut 40 min de calcination dans un four et 20 min de broyage. Pour fabriquer une tonne de ciment 2, il faut 12 min de four et 30 min de broyage. Le four et l'atelier de broyage sont disponibles 6h et 8h par jour. Quelle quantité de ciment de chaque type peut-on produire par jour pour maximiser le bénéfice ?

Variables

Fonction-objectif

Contraintes

Domaine de définition

Démarche de modélisation et résolution

Principales étapes de modélisation et résolution d'un problème concret :

- 1 **identification du problème** : formulation des objectifs, expressions des choix possibles, recensement des contraintes. La tâche la plus difficile pour cette étape est le recueil des données précises et fiables.

Démarche de modélisation et résolution

Principales étapes de modélisation et résolution d'un problème concret :

- ① **identification du problème** : formulation des objectifs, expressions des choix possibles, recensement des contraintes. La tâche la plus difficile pour cette étape est le recueil des données précises et fiables.
- ② **modélisation** : établir un lien entre les différents paramètres. Utiliser en priorité des modèles connus : programmes linéaires, ou programmes linéaires en nombres entiers (ou mixtes), ou graphes, ...

Démarche de modélisation et résolution

Principales étapes de modélisation et résolution d'un problème concret :

- ① **identification du problème** : formulation des objectifs, expressions des choix possibles, recensement des contraintes. La tâche la plus difficile pour cette étape est le recueil des données précises et fiables.
- ② **modélisation** : établir un lien entre les différents paramètres. Utiliser en priorité des modèles connus : programmes linéaires, ou programmes linéaires en nombres entiers (ou mixtes), ou graphes, ...
- ③ **résolution** : utiliser en priorité des méthodes connues pour trouver l'optimum mais également la sensibilité de la solution obtenue par rapport aux imprécisions des données.

Démarche de modélisation et résolution

Principales étapes de modélisation et résolution d'un problème concret :

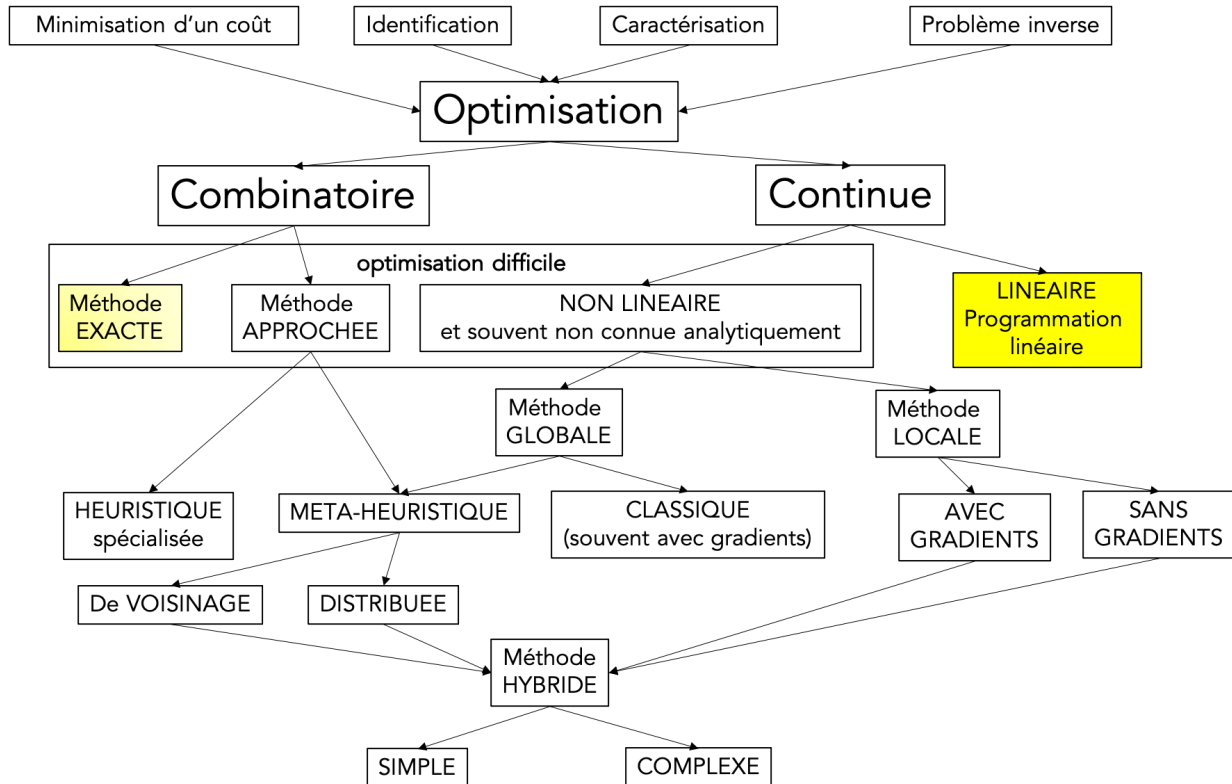
- ① **identification du problème** : formulation des objectifs, expressions des choix possibles, recensement des contraintes. La tâche la plus difficile pour cette étape est le recueil des données précises et fiables.
- ② **modélisation** : établir un lien entre les différents paramètres. Utiliser en priorité des modèles connus : programmes linéaires, ou programmes linéaires en nombres entiers (ou mixtes), ou graphes, ...
- ③ **résolution** : utiliser en priorité des méthodes connues pour trouver l'optimum mais également la sensibilité de la solution obtenue par rapport aux imprécisions des données.
- ④ **vérification du modèle** : examiner la solution obtenue. Si elle paraît surprenante (par rapport à l'historique par exemple), vérifier si tous les éléments ont été correctement pris en compte dans le modèle.

Démarche de modélisation et résolution

Principales étapes de modélisation et résolution d'un problème concret :

- ① **identification du problème** : formulation des objectifs, expressions des choix possibles, recensement des contraintes. La tâche la plus difficile pour cette étape est le recueil des données précises et fiables.
- ② **modélisation** : établir un lien entre les différents paramètres. Utiliser en priorité des modèles connus : programmes linéaires, ou programmes linéaires en nombres entiers (ou mixtes), ou graphes, ...
- ③ **résolution** : utiliser en priorité des méthodes connues pour trouver l'optimum mais également la sensibilité de la solution obtenue par rapport aux imprécisions des données.
- ④ **vérification du modèle** : examiner la solution obtenue. Si elle paraît surprenante (par rapport à l'historique par exemple), vérifier si tous les éléments ont été correctement pris en compte dans le modèle.
- ⑤ **réalisation**. Donner des instructions claires pour l'application de la solution

Classification des méthodes d'optimisation mono-objectif



Source : Collette - Siarry 2002

Déroulement et contenu de ce Cours

- Bases de programmation linéaire
 - **Modélisation**
 - Résolution graphique (2D), simplexe primal
- Quelques problèmes classiques en optimisation combinatoire
- Base de programmation linéaire en nombres entiers
 - **Modélisation**
 - Procédures de séparation et évaluation (Branch-and-bound) : relaxations, calculs de bornes, stratégies de branchement

Bibliographie

Aussi accessibles en ligne via le VPN N7 par le portail planete.inp / Biblio'tech / scholarvox.



[Christian Prins, Marc Sevaux](#)

Programmation linéaire avec Excel : 55 problèmes d'optimisation modélisés pas à pas et résolus avec Excel

[Eyrolles, 2011.](#)



[Robert Faure, Bernard Lemaire, Christophe Picouveau](#)

Précis de recherche opérationnelle : Méthodes et exercices d'application

[Dunod, 2009.](#)

Non accessibles en ligne mais disponibles à la bibliothèque



[M. Minoux](#)

Programmation mathématique : théorie et algorithmes

[Lavoisier, 2008.](#)



[Bernhard H.Korte, Jens Vygens](#)

Optimisation combinatoire : théorie et algorithmes

[Lavoisier-Hermès, 2018.](#)