

Recherche Opérationnelle

Introduction

Sandra U. Ngueveu

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

2019/2020

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**.

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

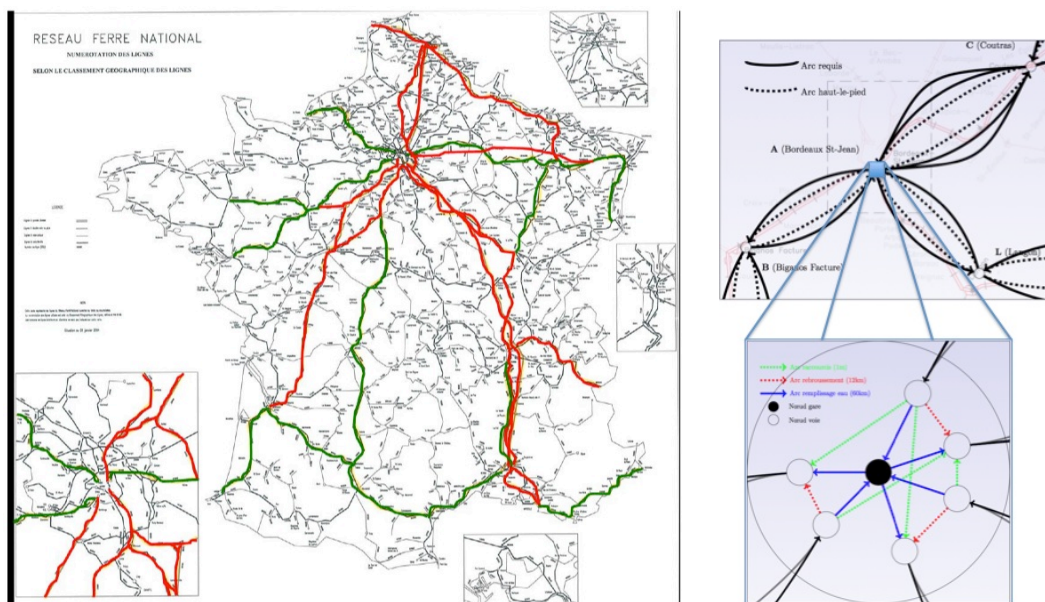
Cahier des Charges : différents types de contraintes

- **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, . . .)

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

Exemple2 : optimisation d'énergie pour les VEH

Cases studies and key issues
●○○○○○○○○○○○○○○

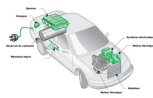
continuous PWL approximation
○○○○○○○○○○○○

nnc PWL fct
○○○○○○○○○○○○○○○○

Fitting corridors
○○○○○○○○○○

Conclusion
○○

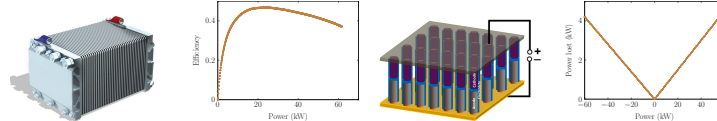
Energy in hybrid electric vehicles



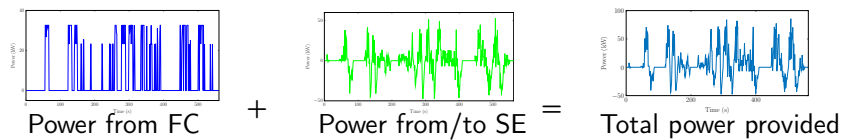
Electric propulsion motor powered by :

- onboard generator : e.g. **hydrogen fuel cell (FC)**
- reversible source : e.g. **supercapacitor (SE)**

Energy sources characteristics : **power limits(kW)**, **efficiency(%)**, **capacity(kWs)** ...



Find at each instant the **optimal power split** between the energy sources
to **minimize the total fuel consumption**.



Sandra Ulrich Ngueveu

Tutorial INOC 2019: Linearization for MINLP

3 / 45

Sandra U. Ngueveu (N7 - LAAS)

Recherche Opérationnelle - CTD - APP SN

2019/2020

9 / 17

Variables

Fonction-objectif

Contraintes

Données / Paramètres

Nous nous focaliserons sur les modèles de type programmation linéaire (PL) et programmation linéaire 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

Exemple illustratif

Modèle mathématique résultant

Démarche de modélisation et résolution

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

- ① **identification du problème** : formulation des objectifs, énumération des solutions 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 (prog. linéaire, prog. dynamique, ...).
- 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 au personnel

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
- aident à confirmer / justifier des décisions

Liens utiles :

itw mp3 (11min) : http://interstices.info/jcms/i_56867/a-propos-de-la-recherche-operationnelle
 société "savante" (communauté des chercheurs et industriels en R.O.) : www.roadef.org
 Livre blanc de la R.O. : http://www.roadef.org/pdf/LIVRE_BLANC_A5-juin.pdf

Déroulement de ce Cours de PL

- Programmation linéaire
 - Modélisation mathématique
 - Approche Graphique 2D pour le cas à 2 variables
 - Approche Simplexe pour le cas à n variables
 - 2 TP illustratifs
- Programmation linéaire en nombres entiers
 - Procédure de séparation et évaluation
 - 1 TP illustratif
- Programmation dynamique
 - Principes et application
 - 1 TP illustratif

Bibliographie



I. Charon, A. Germa et O. Hudry

Méthodes d'optimisation combinatoire (partie 1 : programmation linéaire)

Masson, 1996.



C. Guéret, C. Prins et M. Sevaux

Programmation linéaire : 65 problèmes d'optimisation ...

Eyrolles, 2000.



K. Mellouli, E. K. Abdelkader et P. Borne

Programmation linéaire et applications

Technip, 2004.



M. Minoux

Programmation mathématique : théorie et algorithmes

Lavoisier, 2008.