

# Algorithme hybride multi-objectif pour l'optimisation énergétique de profils de vitesse de trains

Aurelien Lejeune, Rémy Chevrier, Joaquín Rodriguez

Université Lille Nord de France F59000 Lille,  
IFSTTAR ESTAS, 20 rue Élisée Reclus, F59666 Villeneuve d'Ascq  
{aurelien.lejeune; remy.chevrier; joaquin.rodriguez}@ifsttar.fr

**Mots-clés** : *ferroviaire, programmation dynamique, recherche opérationnelle, optimisation.*

## 1 Introduction

L'une des problématiques actuelles du domaine ferroviaire est de minimiser la consommation énergétique sur le réseau sans impacter plus que nécessaire le temps de trajet des trains. Le modèle présenté a pour objectif d'une part, de proposer un ensemble de profils de vitesse étant des compromis entre temps de parcours et consommation énergétique. Et d'autre part de pouvoir intégrer facilement cette approche dans différents modèles multi-train [2, 4].

## 2 Modèle

L'approche présentée ici se base sur les travaux présentés en [3] pour la décomposition d'une ligne ferroviaire en sections ainsi que sur la division des régimes de conduite sur celles-ci en phases consommatrices et phases sans consommation d'énergie. Les équations non détaillées en (2) permettent de décrire le mouvement d'un train et de déterminer sa consommation énergétique en fonction des quatre modes de conduite optimaux selon le Principe Maximum[1] qui sont : l'accélération ; le freinage ; le régime de croisière (déplacement à vitesse constante) et la marche sur l'erre. Les variables  $s(t)$  et  $v(t)$  représentent respectivement la position du train et sa vitesse à l'instant  $t$ .

$$\underset{\mathbf{t}, \mathbf{v}^I}{\text{optimize}} \Phi = (\min T, \min E) \quad (1)$$

subject to

$$\text{Équations de la dynamique du train} \quad (2)$$

$$v(t) = v_i^I, \quad s(t) = s_i^d \quad (3)$$

$$u(t) = f(i, v_{i-1}^I, t_i, v_i^I)(t), \quad s_i^o \leq s(t) \leq s_i \quad (4)$$

$$0 < v_i^I \leq \min(v_i^{max}, v_{i+1}^{max}), \quad \forall i = 1, \dots, n-1 \quad (5)$$

$$v_n^I = v(T), v_0^I = v(0) \quad (6)$$

La fonction  $f(i, v^o, t, v^d)$  utilisée par la contrainte (4) est la suite de commandes utilisées le long d'une section ( $i$ ) minimisant la consommation d'énergie selon un temps de parcours donné  $t$  et des vitesses d'entrée et de sortie de section fixées.

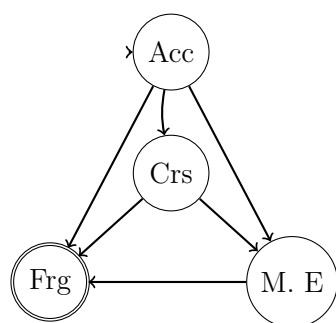
Les solutions de ce modèle sont représentées par des vecteurs solutions de la forme :

$$\mathcal{S} = (t_1, v_1^I, \dots, v_{n-1}^I, t_n)$$

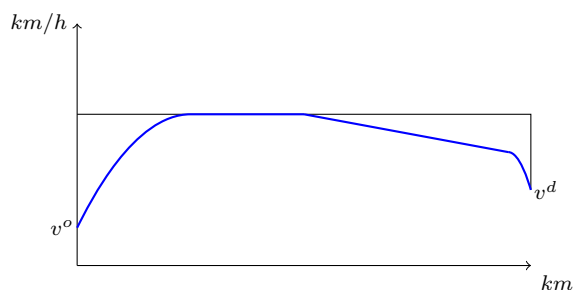
Les variables  $t_i$  et  $v_i^f$  sont le temps de parcours sur la section  $i$  et la vitesse du train au point de passage entre la section  $i$  et  $i + 1$ . La recherche de solutions se fera à l'aide d'un algorithme hybride. D'un coté, un algorithme évolutionnaire va générer un ensemble de vecteur solution à l'aide d'opérateurs classiques. Et d'un autre coté, l'évaluation de ces solutions se fera en utilisant la programmation dynamique afin de déterminer si une suite de commande  $f(\dots)$  est réalisable compte tenu des variables  $v$  et  $t$ .

## 2.1 Calcul de la fonction $f(\dots)$

Afin de trouver la conduite optimale en énergie sur une section, celle-ci sera discrétisée en intervalles de temps  $\Delta t$ . Pour chaque intervalle de temps, un régime de conduite sera choisi selon l'automate décrit par la figure 1a. Un exemple de conduite optimale est présenté en figure 1b. L'approximation des fonctions dynamiques se fait à l'aide de la méthode des trapèzes. Un algorithme de programmation dynamique va alors rechercher la suite de régimes optimaux dans le graphe ainsi obtenu afin de minimiser l'énergie de traction consommée sur la section.



(a) Automate des régimes de conduite le long d'une section.



(b) Exemple de profil optimal sur une section

FIG. 1

## 3 Perspectives

Cette approche a l'avantage de permettre de mettre en relation immédiatement un des objectifs à optimiser (le temps de parcours  $T$ ) avec certaines variables du vecteur solution (le temps de trajet sur chaque section  $t_i$ ). Des résultats sur l'utilisation de ce modèle sur des cas pratiques seront publiés ultérieurement. De plus, les perspectives de cette méthode permettent dans le cadre d'une approche multi-train, de séparer le calcul de la consommation énergétique des problématiques de routage et d'ordonnancement.

## Références

- [1] Thomas Albrecht. *Railway Timetable & Traffic – Analysis, Modelling, Simulation*, chapter Energy-Efficient Operation Train Operation, pages 83–105. Eurail press, 2008.
- [2] Andrea D'Ariano. *Improving real-time train dispatching : models, algorithms and applications*. Number T2008/6. Netherlands TRAIL Research School, 2008.
- [3] Aurelien Lejeune, Rémy Chevrier, and Joaquín Rodriguez. Improving an evolutionary multi-objective approach for optimizing railway energy consumption. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48(0) :3124 – 3133, 2012. Transport Research Arena 2012.
- [4] R. Lusby, J. Larsen, D. Ryan, and M. Ehrgott. Routing trains through railway junctions : A new set packing approach. Technical report, Citeseer, 2006.