

# Programme linéaire pour la gestion synchronisée de la production et de la consommation d'hydrogène

F. BENDALI, J. MAILFERT, E. MOLE KAMGA, A. QUILLIOT, H. TOUSSAINT

LIMOS CNRS/UCA, Labex IMOBS3, AURA, Clermont-Ferrand, France  
{bendali, mailfert, elmole, alain.quilliot, helene.toussaint}@isima.fr

**Mots-clés :** *véhicules autonomes, production d'hydrogène, synchronisation, MIP.*

## 1 Introduction

Une tendance actuelle dans l'économie et les technologies de l'énergie est à la décentralisation de la production d'énergie. Ceci est dû à la fois à la dérégulation des marchés de l'énergie et à l'essor des technologies des énergies renouvelables, qui permettent de plus en plus l'émergence de producteurs d'énergie locaux (solaire, éolien, hydrogène, ...), capables de produire leur propre énergie, mais aussi de la vendre. Ces producteurs/consommateurs locaux peuvent être des usines, des fermes et même des particuliers. Cela soulève des questions complexes pour les producteurs d'énergie traditionnels.

le problème que nous nous proposons d'exposer consiste à expérimenter et à exploiter une micro-usine locale de production d'hydrogène (H<sub>2</sub>). Cette micro-usine est conçue pour fournir à un parc de véhicules autonomes ou semi-autonomes de l'énergie électrique obtenue par l'utilisation de piles à combustible H<sub>2</sub>. Alors que la plupart de la production de H<sub>2</sub> est généralement réalisée par des procédés d'électrolyse coûteux en énergie, le traitement est ici, basé principalement sur l'énergie solaire et la photolyse et s'appuie sur une quantité marginale d'énergie électrique externe [1]. Une conséquence est que la performance du processus dépend profondément de l'intensité de l'illumination solaire, et donc du temps.

## 2 Problème

Le problème global que nous abordons dans le cadre de ce projet, concerne la gestion synchrone sur une plate-forme expérimentale appelée PAVIN-Energy d'une flotte de petits véhicules électriques équipés de cellules H<sub>2</sub>, qui sont nécessaires pour effectuer des tâches logistiques locales dans une zone limitée, et du micro site chargé du remplissage périodique de ces véhicules. Ce problème global est complexe car il implique à la fois des caractéristiques liées à l'incertitude des prévisions météorologiques mais aussi à la sécurité liée au comportement autonome du véhicule. La synchronisation a pour objectif d'établir une sorte de planning des collectes et livraisons de la part des véhicules ainsi que de la production et du stockage de l'hydrogène au sein de la micro usine.

Ces problèmes ont été étudiés dans la littérature et se retrouvent sous différentes terminologies [2] [3] [4]. Ici, nous ne traitons que d'une partie spécifique de ce problème global : nous considérons que la flotte est réduite à un seul véhicule, et que la succession des tâches que ce véhicule est censé accomplir a été fixée à l'avance. Le véhicule commence son parcours avec un chargement de carburant H<sub>2</sub> et remplit ses fonctions avec un réservoir chargé de carburant H<sub>2</sub>. Ce réservoir a une capacité limitée. Cela signifie que le véhicule doit retourner périodiquement dans la zone de stockage de la micro-usine pour charger une quantité, avec une charge H<sub>2</sub> que la micro-usine aurait dû pouvoir produire auparavant. La capacité de production/stockage de la micro-usine est limitée à tout moment à la fois par la capacité de sa propre zone de

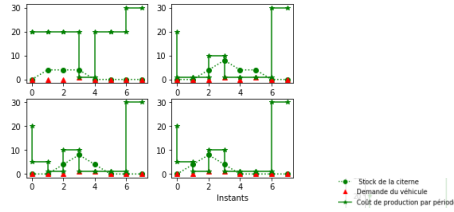


FIG. 1 – Exécution sur quatre instances du programme linéaire de résolution du problème par Cplex.

stockage et par le niveau du rayonnement solaire. Lorsque la quantité d'hydrogène chargée est fixe, le problème de recharge (RVRP) est **NP-Complet** car il se réduit de façon polynomiale au problème du sac à dos.

Notre objectif est de programmer simultanément les opérations de collecte/livraison du véhicule et l'activité de production/stockage de la micro-usine. Nous nous concentrons sur la synchronisation : cela signifie que nous ne traitons ni de l'incertitude ni de la conception des itinéraires des véhicules, et que nous considérons que nous disposons d'éléments déterministes. Bien que ce modèle soit simplifié par rapport à la réalité, il permet néanmoins d'obtenir une analyse de la façon dont on peut faire communiquer deux schémas de décisions presque indépendants (le véhicule et la micro-usine) afin de les synchroniser.

### 3 Méthode de résolution

Nous traitons principalement ce problème par le biais de la programmation linéaire à variables mixtes (MIP) avec les décisions liées à la recharge du véhicule et celles liées à la production d'hydrogène. Mais, comme il tend à impliquer un trop grand nombre de variables, nous le décomposons en deux sous-problèmes distincts, l'un lié au contrôle de la trajectoire du véhicule décrit pour la première fois par Ryan Conrad et al. [2] et récemment par Tomislav Erdelić et al. [3], et l'autre à la gestion de la micro-usine abordé par Fadi Shrouf et al. [4], qui sont également traités par des programmes linéaires liés entre eux par un mécanisme de synchronisation. La figure 4 illustre les résultats du programme linéaire de résolution du problème par Cplex sur quatre instances : trois de six stations, une de quatre et le temps maximum est cent.

### 4 Conclusions et perspectives

Nous nous intéressons à une résolution du problème grâce à un programme linéaire par une méthode basée sur trois étapes : la résolution de la recharge du véhicule, la résolution de la production d'hydrogène et leur synchronisation. Les résultats obtenus montrent l'efficacité de Cplex pour de petites instances de ces problèmes très contraints.

### Références

- [1] Craig Grimes, Oomman Varghese, Sudhir Ranjan. *Light, water, hydrogen : The solar generation of hydrogen by water photoelectrolysis*. Springer-Verlag US, 2008.
- [2] Ryan Conrad, Miguel Figliozzi. *The Recharging Vehicle Routing Problem. Proc. of the 61st Annual IIE Conference*, 2011.
- [3] Tomislav Erdelić, Tonci Caric, Martina Ravlic, Leo Tišljarić. Electric vehicle routing problem with single or multiple recharges. *Transportation Research Procedia*, 40 : 217-224, 2019.
- [4] Fadi Shrouf, Joaquín Ordieres-Meré, García-Sánchez, Álvaro Miguel Ortega-Mier. Optimizing the production scheduling of a single machine to minimize total energy consumption costs. *Journal of Cleaner Production*, 67 :0 197-207, 2014.