

# Métaheuristique pour la conception d'un réseau de distribution de l'hydrogène dans un cas multi-période

Linfei Feng, Hervé Manier, Marie-Ange Manier

UTBM, CNRS, Institut FEMTO-ST, F-90010 Belfort, France  
{linfei.feng, herve.maniem, marie-ange.maniem }@utbm.fr

**Mots-clés** : *conception de la chaîne logistique de l'hydrogène, algorithme génétique, MILP*

## 1 Introduction et description du problème

L'hydrogène est une énergie essentielle pour atteindre l'objectif de neutralité en émissions de l'Accord de Paris pour 2050. Si des progrès sont réalisés dans les systèmes énergétiques à hydrogène, le coût reste un obstacle important. De plus, même si le "zéro émission" peut être atteint en phase d'utilisation, les émissions doivent être maîtrisées tout au long de la chaîne d'approvisionnement dont l'optimisation devient alors impérative. Les matières premières proviennent de diverses sources (gaz naturel, biomasse et énergie électrique solaire ou éolienne, géothermie, etc.) qui présentent des fluctuations notables au niveau temporel et en termes de prix [1]. Enfin, comme la chaîne d'approvisionnement nécessite des investissements à long terme, notre étude se concentre sur sa conception sur plusieurs périodes.

Nous étudions la chaîne logistique depuis l'approvisionnement en matières premières jusqu'aux usagers (Figure 1). Les matières extraites sont transportées vers les usines de production de l'hydrogène qui est généré suivant diverses technologies, puis transféré vers des centres de stockage avant d'être distribué dans des stations service suivant les besoins des utilisateurs. Nous cherchons la configuration de la chaîne qui minimise le coût total tout en satisfaisant un ensemble de contraintes, dont la limitation des émissions de gaz à effet de serre. Elle définit notamment la technologie de production et de stockage, la sélection des sites d'implantation des infrastructures et leur dimensionnement, le flux à chaque noeud du réseau, le mode de transport. Le coût comprend les coûts des matières premières, les coûts d'investissement et de remplacement des installations, les coûts d'exploitation et les coûts de transport.

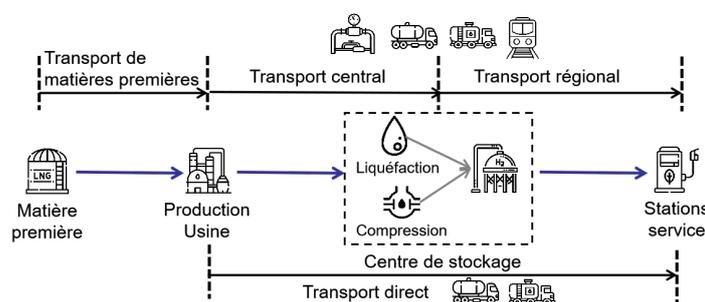


FIG. 1 – Chaîne logistique de l'hydrogène

## 2 Méthode développée

Nous avons tout d'abord modélisé ce problème par un programme linéaire (MILP), qui est une extension des travaux de Lei et al [2][3]. Ce modèle est résolu au moyen du solveur

commercial Cplex. Mais il a du mal à fournir une solution optimale dans un délai raisonnable. Nous avons combiné un algorithme génétique avec la programmation linéaire en nombres entiers mixtes. Cet algorithme hybride (GA) résout le problème en trois étapes. Dans l'étape 1, nous appliquons le MILP précédent, mais sans les coûts de transport, pour déterminer un nombre de noeuds de production et de stockage. Dans l'étape 2, nous générons aléatoirement une population initiale de chromosomes qui spécifient la localisation de chaque noeud de production et de stockage suivant le nombre précédemment déterminé. Ces chromosomes subissent ensuite des opérations de sélection, de croisement et de mutation. Dans l'étape 3, en utilisant la solution obtenue à l'étape 2 comme paramètre d'entrée du MILP global, le solveur calcule le coût de la chaîne d'approvisionnement en déterminant simultanément les valeurs des variables restantes.

### 3 Expériences et résultats

Notre étude de cas considère six scénarios à l'échelle de la France (N1 à N6) avec différents nombres de noeuds candidats. Nous considérons la demande en hydrogène actuelle et un horizon de planification allant de 2023 à 2050, divisé en 4 périodes entre lesquelles le taux de pénétration de l'hydrogène augmente. Le tableau 1 compare les résultats de la méthode exacte MILP avec la métaheuristique hybride GA. "Temps" fournit les temps de résolution en secondes. "Coût" est le meilleur coût total obtenu par Cplex. L'exécution est arrêtée dès que l'écart entre le coût et sa borne inférieure devient plus petite que 0%, 1%, 2%, 3%, 4% et 5% respectivement pour les instances N1 à N6, en fixant un temps CPU maximal de 100 heures. Enfin, GAP est l'écart relatif entre "Coût moyen" (GA) et "Coût" (MILP).

Les résultats montrent que notre algorithme GA réduit considérablement le temps de calcul, avec une réduction moyenne de 85% par rapport au MILP. Dans les scénarios à grande échelle où le solveur ne parvient pas à produire de solution, GA parvient toujours à trouver une solution dans un délai raisonnable. Il garantit systématiquement une solution de haute qualité, l'écart par rapport à la solution MILP restant inférieur à 0,5% dans tous les cas. Pour un nombre élevé de noeuds, GA surpasse MILP avec un coût total plus faible.

No	Nombre' de noeuds	MILP		GA ( pour 10 runs)			GAP (%)
		Coût	Temps(s)	Meilleur coût	Coût moyen	Temps(s)	
N1	5	4.815	1069	4.815	4.815	522	0.00
N2	10	4.603	59118	4.603	4.605	4051	0.04
N3	15	4.589	137536	4.586	4.593	6924	0.08
N4	20	4.563	212871	4.539	4.579	11113	0.34
N5	30	4.559	243061	4.507	4.512	19874	-1.03
N6	50	--	360000	4.467	4.472	30855	--

TAB. 1 – Résultats pour les instances testées

### Références

- [1] Jefferson A. Riera, Ricardo M. Lima, and Omar M. Knio. A review of hydrogen production and supply chain modeling and optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023.
- [2] Lei Li, Linfei Feng, Hervé Manier, and Marie-Ange Manier. Life cycle optimization for hydrogen supply chain network design. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022.
- [3] Lei Li, Hervé Manier, and Marie-Ange Manier. Integrated optimization model for hydrogen supply chain network design and hydrogen fueling station planning. *Computers & Chemical Engineering*, 134 : 106683, 2020.