

# Conception d'une structure de distribution pour les nouveaux marchés de l'hydrogène

Emmanuelle Patay

Centre de Recherche Claude et Delorme – Air liquide  
1, chemin de la Porte des Loges – Les Loges-en-Josas - BP126 – 78354 Jouy-en-Josas Cedex  
emmanuelle.patay@airguide.com

**Mots-clés :** *distribution d'hydrogène, conception de réseaux logistiques, diversité des modes de distribution, incertitudes de déploiement.*

## 1. Introduction

La planète est aujourd'hui confrontée à un double défi : environnemental et énergétique. Dans ce contexte, l'accès à une mobilité durable constitue un enjeu majeur pour permettre de réduire les gaz à effet de serre, la pollution dans les villes et diminuer la dépendance aux carburants pétroliers. L'hydrogène, utilisé en tant que vecteur d'énergie, constitue l'une des solutions pour répondre à court terme à ces défis. Dans ce contexte, Air Liquide coordonne un programme d'innovation « Horizon Hydrogène Energie » ayant pour but de développer la filière Hydrogène en tant que vecteur d'énergie. Ce programme intègre le développement de technologies innovantes mais également la mise en place d'un cadre réglementaire pour l'émergence de l'hydrogène à l'horizon 2015. Ce programme vise les marchés dit précoces de l'hydrogène qui sont aussi variés et divers que les installations de secours, les sites isolés, les alimentations mobiles et transportables ou encore les flottes captives de véhicules. Ainsi, en marge des développements techniques nécessaires, un des challenges de ce programme, qui permettra d'augmenter l'acceptation de cette nouvelle filière, concerne la mise en place d'une chaîne logistique flexible et adaptée à la diversité des marchés et à leur émergence, mais à des coûts acceptables.

### 1 Présentation du problème

Dans un contexte incertain de développement de ces divers marchés précoces de l'hydrogène, la conception de réseaux de distribution implique la résolution de problèmes assez complexes. Ces problèmes regroupent des décisions de localisation d'unités de production ou d'entrepôts, de choix de capacité, d'affectation de demande, de choix de modes de transport et de routage [1]. Le problème auquel on s'intéresse nous a conduit à élaborer un outil d'aide à la conception d'une structure de distribution d'hydrogène pour l'ensemble de ces marchés entre 2010 et 2015 et permettant d'évaluer l'impact sur le développement du marché du transport durable à plus long terme. L'outil développé devait donc permettre de résoudre un problème de grande taille pour intégrer tous ces marchés sur un large périmètre géographique, dynamique afin d'intégrer l'évolution du réseau, et tenant compte de l'incertitude de certains paramètres comme la demande.

Dans la littérature, de nombreux modèles d'aide à la décision ont été développés pour les problèmes de conception de réseaux logistiques. Les modèles proposés sont pour la majorité des modèles statiques et déterministes qui permettent de trouver, soit des solutions optimales à des problèmes de flots, de localisation, de routage et de conception de réseaux, de petites tailles, soit des

solutions heuristiques à de plus gros problèmes de même nature. Pour mieux traduire la réalité de certains problèmes, des modèles dynamiques ont été développés. Enfin, l'incertitude sur certains paramètres, comme, la demande, les coûts, les sites potentiels, les distances ou les ressources, a menée à l'élaboration de modèles stochastiques. Ces modèles représentent l'incertitude par des lois de comportement probabilistes. D'autres modèles traitent cette incertitude en considérant plusieurs scénarios possibles. Ainsi, la complexité des problèmes réels conduit souvent à l'élaboration de modèles complexes dont la résolution à l'optimalité est rarement possible. L'élaboration, par des méthodes heuristiques, de solutions approchées, est alors nécessaire. Face à des problèmes où l'incertitude sur de nombreux paramètres est grande, la simulation et les heuristiques peuvent fournir des solutions satisfaisantes.

Nous proposons donc un outil permettant d'aider à la conception d'une structure de distribution pour les marchés de l'hydrogène, reposant sur le couplage de la simulation et d'heuristiques: ODHISSE. Cet outil a été développé initialement pour le marché des transports exclusivement dans les travaux de Patay [2] et a été adapté pour intégrer les particularités liées aux marchés précoces.

## 2. Description de l'outil ODHISSE et résultats de l'étude

ODHISSE intègre un modèle d'optimisation dynamique explicite, c'est-à-dire permettant de prendre des décisions pour chaque pas de temps de l'horizon avec des contraintes de continuité entre ceux-ci. L'objectif que l'on cherche à minimiser est le coût de la structure. Ce coût inclut les coûts d'investissement et de fonctionnement pour la production, la transformation, le stockage et le transport de l'hydrogène. L'incertitude sur la demande est traitée par scénarios et simulations aléatoires.

Nous proposons de résoudre de façon approchée un problème d'optimisation dynamique où les valeurs des variables de décision choisies permettront de déterminer directement le coût d'une bonne solution du problème de localisation, de capacité, d'affectation et de routage sous-jacent. Pour cela, nous avons construit une fonction donnant le coût de la solution logistique en fonction de seulement quelques variables pertinentes. Ces variables sont le nombre d'unités de production, le nombre de centres de compression, le nombre de liquéfacteurs, le nombre de stations services à intégrer au réseau ainsi que le nombre de clients sur chacun des marchés visés. Puis nous avons optimisé cette fonction de façon approchée. La démarche d'élaboration de la fonction de coût s'est décomposée en trois étapes. Un simulateur permet de construire et de calculer le coût d'un bon réseau logistique pour un jeu de variables donné. A l'aide d'un plan d'expérience en hypercube latin, le calcul de ce coût est réalisé pour un certain nombre de jeu de variables. Enfin, une fonction économique à optimiser est obtenue par interpolation de l'ensemble de ces coûts. A partir de cette fonction, une méthode d'optimisation heuristique qui s'appuie sur la structure dynamique du problème permet de fournir une solution approchée au problème. Le calcul repose sur de nombreuses hypothèses, sur de la simulation aléatoire et sur une optimisation par heuristique ; ainsi la solution trouvée est une approximation de la solution optimale.

Des études menées sur des données géographiques de l'Europe vont permettre de concevoir la structure du réseau de distribution qu'Air Liquide devra mettre progressivement en place au cours des cinq prochaines années et dans un futur plus lointain.

## Références

- [1] Owen S.H. and Daskin M.S., 1998. Strategic facility location: A review. EJOR 111, p. 423-447.
- [2] Patay E., Déploiement de la chaîne logistique de l'hydrogène pour le marché des carburants en 2050 : Conception et développement d'un outil d'aide à la décision pour l'analyse de scénarios, Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, LGI, Juillet 2008.