

# Thèse de doctorat es Sciences Economiques

Soutenance le 12 mars 2010

LEPII

Laboratoire d'Economie de la Production et de l'Intégration Internationale

## " LA TRANSITION VERS UNE ECONOMIE DE L'HYDROGENE : INFRASTRUCTURES ET CHANGEMENT TECHNIQUE "

Doctorant : Bento Nuno

Directeur : Angelier Jean-Pierre

---

### Jury :

- Monsieur **Percebois Jacques**,  
Professeur Agrégé des Universités, *Université de Montpellier 1* (rapporteur),
  - Madame **Soares Isabel**,  
Professor Catedratico, *Faculdade de Economia do Porto* (rapporteur),
  - Monsieur **Angelier Jean Pierre**,  
Professeur Agrégé des Universités, *Université de Grenoble* (directeur de thèse),
  - Monsieur **Criqui Patrick**,  
Directeur de Recherches au CNRS, *Université de Grenoble*.
- 

## Résumé

La double contrainte changement climatique et raréfaction du pétrole oblige à considérer des alternatives énergétiques pour le moyen terme. Ce travail de recherche porte sur le développement d'une économie hydrogène, laquelle n'est pas possible en l'absence d'une infrastructure de distribution et sans la mise au point de la technologie pile à combustible. L'idée forte de la thèse est que l'Etat joue un rôle central aussi bien dans la mise en place de cette infrastructure que dans la viabilité de la technologie pile à combustible.

Nous mobilisons les théories de l'organisation des industries de réseau, de l'innovation et du changement technique. Les infrastructures à la base d'un réseau sont porteuses d'externalités qui ne sont pas complètement valorisées par le marché (Economides, 1996). De plus, l'adhésion des consommateurs dépend des anticipations qu'ils font sur la taille que le réseau aura dans l'avenir (Buchanan, 1965). Ainsi, la dynamique de croissance du réseau n'est pas linéaire, mais plutôt caractérisé par l'existence de seuils à partir desquels les externalités positives accélèrent le développement du réseau (Katz et Shapiro, 1985). Par ailleurs, le réseau se développe d'abord pour des raisons techniques et économiques mais l'expansion reste une décision publique (Noam, 1991).

La technologie pile à combustible à hydrogène représente une rupture technologique dans les différents secteurs d'utilisation, ce qui rend la transition plus difficile et complexe (Dosi, 1988a ; Freeman, 1982). Le développement de la demande est conditionné par l'évolution de la technologie et du contexte externe (Geels, 2005). A l'aide des théories de la transformation technologique d'inspiration évolutionniste (Christensen, 1997 ; Kemp et al., 1998 ; Arthur, 1989 ; David, 1989 ; Nelson et Winter, 1977, 1982), nous analysons les possibilités qu'a la pile à combustible à percer sur le marché et à remplacer la technologie conventionnelle.

Cette thèse présente deux principaux résultats : le premier quant à l'organisation de la mise en place de l'infrastructure initiale et le second quant à la manière dont la voiture pile à combustible peut entrer sur le marché.

L'analyse techno-économique de la nouvelle filière hydrogène-énergie met en exergue les enjeux de la mise en place des infrastructures. L'étude du développement des réseaux d'électricité et du gaz dans le passé fournit la base empirique qui confirme l'hypothèse selon laquelle la volonté publique joue un rôle important pour consolider la diffusion des réseaux sociotechniques. En outre, les projets privés de stations-service peuvent se justifier par des avantages de pionnier, mais leur viabilité dépend de la demande dont l'évolution est fonction des performances de la pile à combustible.

La domination des technologies conventionnelles liées au pétrole rend plus difficile l'introduction des innovations de rupture telles que la pile à combustible. Et en particulier dans le cas des transports qui ont été verrouillés par le pétrole dans un processus historique de dépendance de sentier (Unruh, 2000, 2002). Dans ce contexte, la pile à combustible devrait entrer progressivement sur le marché à travers l'accumulation des niches où l'innovation est plus proche de la commercialisation. Ces niches de marché devront se retrouver dans un premier temps dans les applications portables. Cela doit s'accompagner d'un investissement en recherche et démonstration de manière à augmenter les performances et à diminuer les coûts, en permettant ainsi d'arriver rapidement aux marchés principaux.

A l'aide d'un modèle simple de diffusion multitechnologique, nous étudions le comportement de la concurrence entre la voiture pile à combustible à hydrogène et la voiture hybride rechargeable. Nous montrons que l'entrée précoce de cette dernière risque de bloquer l'arrivée de la voiture à hydrogène sur le marché. Des progrès dans la pile à combustible sont nécessaires pour accélérer la diffusion de la voiture à hydrogène, ce qui demande le maintien d'un soutien public à la R&D. Le coût du carbone et la stimulation de la demande sont des mesures complémentaires permettant d'accélérer l'entrée de

l'hydrogène dans le marché. En outre, une adoption à large échelle exige une couverture suffisante de l'infrastructure de support ; mais les plans des agents privés risquent d'être trop modestes initialement. Le financement public de l'infrastructure est alors une solution pour démarrer la transition.

---

**Mots-clés** : Economie des réseaux ; économie de l'innovation et du changement technique ; infrastructures ; transport ; hydrogène.

## Abstract

*« The transition towards a hydrogen economy: infrastructure and technical change »*

The double constraint of climate change and increasing scarcity of oil requires that we consider alternative energies for the medium term. This thesis focuses on the development of a hydrogen economy, which is conditional on the existence of an infrastructure for the distribution of the new fuel and the readiness of fuel cells. The main idea is that the state can play a central role in both infrastructure implementation and preparation of fuel cells technology.

The thesis begins with a techno-economic analysis of the hydrogen-energy chain, which highlights the difficulty of setting up the infrastructure. The study of the development of electricity and gas networks in the past provides the empirical basis supporting the hypothesis that government can play an important role to consolidate the diffusion of socio-technical networks. In addition, private projects of stations may be justified by early-move benefits, although their financial viability depends on the demand for hydrogen which is in turn dependent on the performance of the fuel cell vehicle.

The introduction of radical innovations, such as fuel cell, has been made more difficult by the domination of conventional technologies. This assertion is particularly true in the transport sector which was progressively locked into fossil fuels by a process of technological and institutional co-evolution driven by increasing returns of scale. Hence, fuel cells may primarily diffuse through the accumulation of niches where the innovation is closer to commercialization. These niches may be located in portable applications segment. Investments in research and demonstration are still necessary in order to reduce costs and increase performances of fuel cells.

Using a simple model of multitechnological diffusion, we analyze the competition between the hydrogen fuel cell vehicle and the plug-in hybrid car for the automotive market. We show that an early entry of the latter may block the arrival of hydrogen in the market. Other than fuel cell preparedness, a mass diffusion of hydrogen requires a sufficient coverage of the supportive infrastructure. The continuation of public support for R & D, a carbon tax (tax or permits) and demand stimulation are measures capable of accelerating the entry of hydrogen in the market.

---

**Keywords** : Network economics; innovation and technical change; infrastructure; transport; hydrogen.