



équilibre des énergies

Construisons une société énergétique meilleure

L'hydrogène : une solution possible pour la décarbonation des poids lourds

Une étude d'Equilibre des Energies

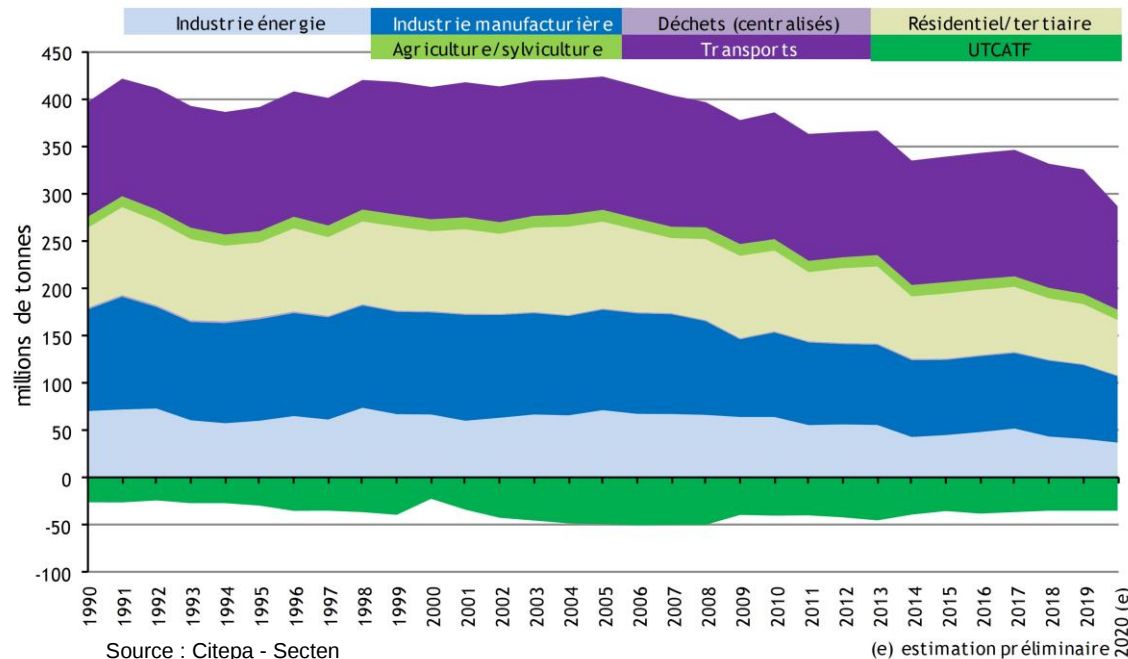
15 octobre 2021

H₂
Hydrogen



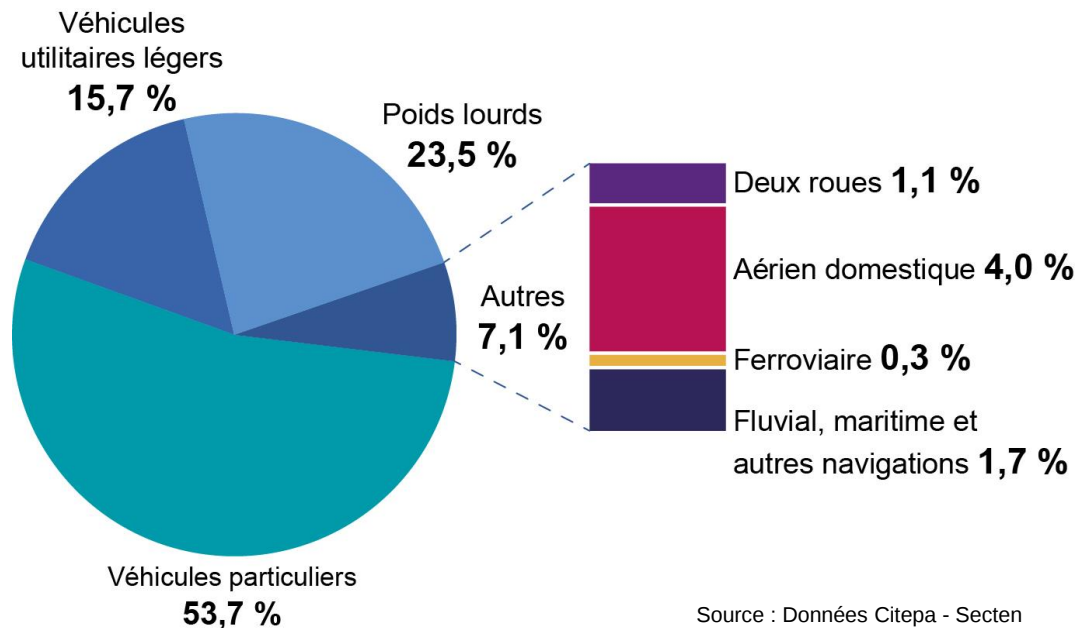
Les transports au cœur de la problématique de la neutralité carbone

- Les transports représentent en France 40 % des émissions de CO₂ et le poids de ces émissions a augmenté de 8 % depuis 1990 (131 Mt de CO₂ en 2019)



Les poids lourds pèsent pour 24 % des émissions de CO₂

- Les émissions recensées en France sont en fait sous-estimées. Le trafic sous pavillon étranger représente environ 40 % du trafic sous pavillon français et beaucoup de poids lourds font le plein avant d'entrer en France.



Les émissions de CO₂ du secteur des transports en 2019

La décarbonation des poids lourds est engagée

- Article 73 de la loi du 24 décembre 2019, modifié par la loi du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique (loi Convention citoyenne)

« I. - La France se fixe l'objectif d'atteindre, d'ici à 2050, la décarbonation complète du secteur des transports terrestres, entendue sur le cycle carbone de l'énergie utilisée.

II. - Pour atteindre cet objectif, la France se fixe les objectifs intermédiaires suivants :

....

3° La fin de la vente des véhicules lourds neufs affectés au transport de personnes ou de marchandises et utilisant majoritairement des énergies fossiles, d'ici 2040. »

- Proposition de disposition similaire attendue de la part de la Commission européenne en 2022
- Sept constructeurs européens (Daimler, Volvo, MAN, Scania, IVECO, DAF et Ford), regroupés dans l'ACEA, se sont engagés à cesser la commercialisation des camions diesel en 2040 (15 décembre 2020)

Comment décarboner les transports lourds

Trois voies sont possibles aujourd'hui :

- Les biocarburants (BioGNV) en relève du GNV : filière mature mais qui se heurte aux limitations de la ressource et à la concurrence d'autres usages (SAFs pour l'aérien) → 24 % maxi de la demande en 2050 selon Carbone 4
- La filière électrique « batteries », avec les variantes possibles à caténaires ou rails le long des voies rapides : solution qui peut bénéficier des progrès considérables accomplis sur les batteries pour véhicules électriques légers.
- La filière électrique « hydrogène », qui s'inscrit dans la cadre des plans hydrogène de la France, de l'Allemagne et de l'Europe mais qui est moins mature que la filière « batteries » (10 ans d'écart ?)
 - ▶ Les deux solutions électriques présentent des avantages et des inconvénients
 - ▶ Le « match » batteries vs hydrogène pour les poids lourds ne fait que commencer.

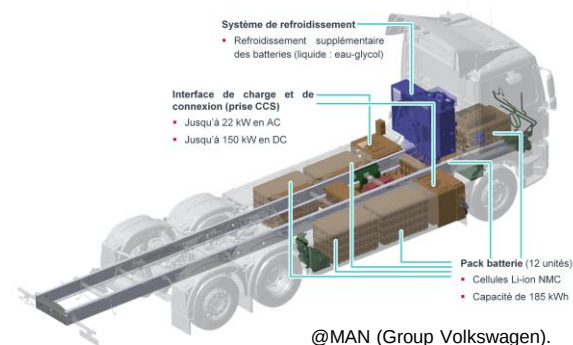
La solution électrique « batteries »

Les points forts

- L'héritage des progrès réalisés sur les batteries pour VL
- La disponibilité d'une offre de véhicules déjà significative (jusqu'à 26 t de PTAC)
- La possibilité de recharger au dépôt
- La perspective de superchargeurs (CharIN : ≥ 1 MW) mais avec des incertitudes

Les points faibles

- L'autonomie aujourd'hui limitée
- La dégradation des performances dans les zones à fortes dénivellations
- Le poids des batteries et les matériaux
- Le temps de recharge
- L'absence d'offre pour les gros poids lourds
- L'absence d'infrastructures de recharge dédiées aux poids lourds
- La compatibilité avec les modes d'exploitation des transporteurs



La solution « électrique » hydrogène

Les points forts

- L'autonomie possible (500 km et plus)
- Le temps de recharge (quelques mn)
- Les perspectives de progrès sur les équipements
- Le momentum actuel en faveur de l'hydrogène
- La compatibilité avec l'exploitation des transporteurs
- La synergie avec les transports de personnes (bus,...).

Les points faibles

- La maturité technologique moins avancée (électrolyseurs, piles à combustible, *dispensers*...)
- Une offre de véhicules encore très réduite
- Des infrastructures quasiment inexistantes
- Le coût économique lié à l'imbrication des rendements actuels (électrolyseurs : ~50 % et piles à combustibles : ~50 %)
- Les caractéristiques propres à l'hydrogène :
 - Stockage sous 700 bars
 - Stockage huit fois plus volumineux que le gazole
 - Risques de fuite, précautions d'utilisation



@ Hyundai



@ Hyundai

L'objectif de l'étude réalisée par Équilibre des Énergies

1

Evaluer, pour le transport de marchandises, la place que la solution hydrogène pourra occuper aux horizons 2030 et 2050, pour les poids lourds de plus de 3,5 t

2

Définir les infrastructures de production, transport et distribution nécessaires pour assurer dans de bonnes conditions le ravitaillement des camions

3

Imaginer des scénarios de développement, estimer les aides nécessaires, suggérer une stratégie évitant le syndrome « de la poule et de l'œuf »

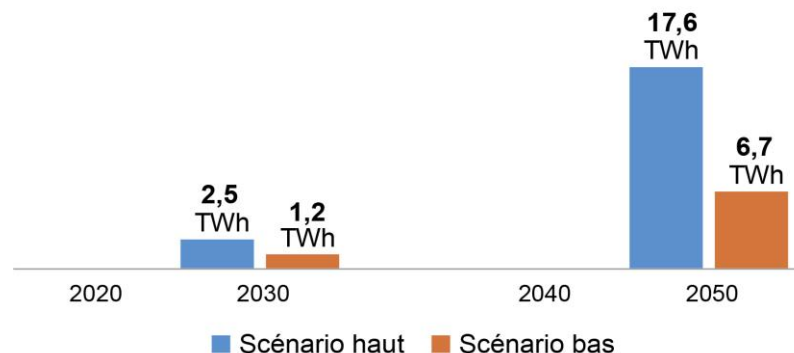
De quoi parle-on ?

Estimations du marché potentiel

- Le secteur du transport lourd est très morcelé (plus de 30 000 entreprises en France) :
 - Transports locaux (< 150 km) : 22 % du trafic en t x km
 - Transports régionaux (150 à 500 km) : 38 % du trafic
 - Transports nationaux et transit européen (> 500 km) : 40 % du trafic
- Retours fréquents au dépôt le soir, avec moyens de ravitaillement propres
- Réglementations strictes sur le temps de conduite
- Cas de deux conducteurs assez peu fréquent
- L'analyse de cet écosystème a conduit à la conclusion que le marché le plus porteur pour l'hydrogène sera celui des transports de plus de 500 km, là où la solution « batteries » est la moins performante
- Deux hypothèses retenues :
 - soit l'hydrogène parvient à occuper 65 % du marché longues distances en 2050
 - soit l'hydrogène reste minoritaire : 25 % du marché en 2050

Les perspectives 2030 et 2050

- Compte tenu du taux moyen de renouvellement de la flotte et des délais nécessaires à la mise en place d'une infrastructure de ravitaillement, le marché restera limité en 2030
- Si les infrastructures sont en place et si l'équation économique le permet, le marché pourra se développer au delà



Consommation d'hydrogène par les transports de marchandises

Chiffres-clés

	Scénario Haut		Scénario Bas	
	2030	2050	2030	2050
Nombre de poids lourds roulant à l'hydrogène	14 500	108 000	7 200	40 000
Besoins en hydrogène (TWh H ₂)	2,5	17,6	1,2	6,7
Consommations d'électricité pour l'électrolyse (TWh)	5,7	36,8	2,8	13,9
Puissance installée en électrolyseurs nécessaire (MW)	575 MW	3 850 MW	270 MW	1 400 MW

- **Nota 1** : Les installations de production d'hydrogène étant interruptibles, la puissance appelée par les électrolyseurs n'affectera pas la puissance appelée en heures de pointe
- **Nota 2** : Le plan hydrogène français s'est donné comme objectif de disposer en France de 6 500 MW d'électrolyseurs installés en 2030

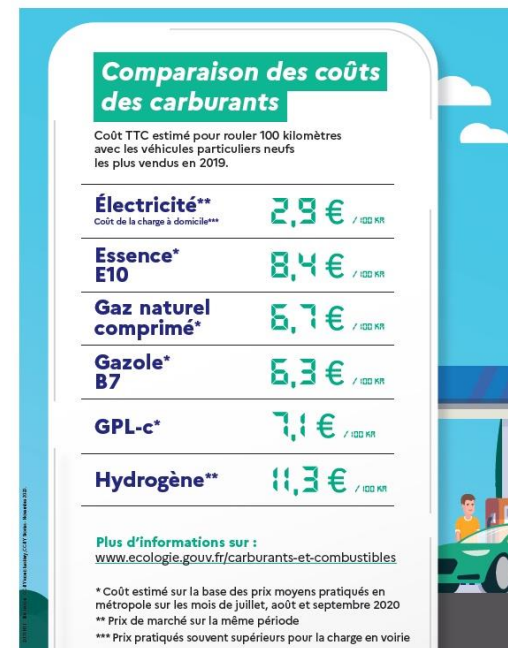
Les conditions du développement

- L'hydrogène pour les poids lourds peut représenter en 2050 un débouché important pour la production d'hydrogène et, partant, nécessiter une capacité de production électrique significative (37 TWh), à compléter par les besoins de la mobilité légère et du transport de personnes.
- Cependant, il faut tenir compte de la faible rentabilité et de l'aversion au risque des entreprises de transport
- La mutation vers l'hydrogène ne pourra se faire que si des réponses satisfaisantes sont apportées aux interrogations des entreprises de transport, en termes de :
 - ▶ prix de revient de la solution hydrogène (coût total de possession)
 - ▶ disponibilité d'une infrastructure appropriée

Le prix de l'hydrogène rendu réservoir

- Le prix de revient de l'hydrogène est aujourd'hui un point faible majeur (> 11 €/kg rendu réservoir)
- Des progrès très importants sont possibles sur :
 - Le prix et le rendement des électrolyseurs
 - Le prix et les performances des piles à combustible (rendement, durée de vie)
 - Le prix des réservoirs et des stockages
 - Le prix des *dispensers*
- Mais le point clé reste le prix de l'électricité

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
*Liberté
Égalité
Fraternité*



Projections possibles

- Sur la base d'une électricité à 60 €/MWh (hors TVA) livrée à des hubs de grande capacité (> 100 MW) et de 75 €/MWh pour de l'électricité livrée à des stations de 5 à 20 MW

En €/kg H ₂	Distance de transport (km)	2020				2030				2050			
		Produc	Transp	Distrib.	Total	Produc	Transp	Distrib.	Total	Produc	Transp	Distrib.	Total
Production Hub et livraison Hub		6,13 €	- €	0,93 €	7,06 €	5,38 €		0,39 €	5,77 €	4,66 €		0,25 €	4,91 €
Production Hub et transport en station de distribution décentralisée non dotée de moyens de production	100	6,13 €	1,32 €	1,79 €	9,24 €	5,38 €	0,62 €	0,73 €	6,73 €	4,66 €	0,53 €	0,60 €	5,79 €
	200	6,13 €	2,45 €	1,79 €	10,38 €	5,38 €	1,18 €	0,73 €	7,29 €	4,66 €	0,99 €	0,60 €	6,25 €
	300	6,13 €	3,59 €	1,79 €	11,51 €	5,38 €	1,73 €	0,73 €	7,84 €	4,66 €	1,45 €	0,60 €	6,71 €
Production et distribution en station décentralisée		8,13 €	- €	0,75 €	8,89 €	6,55 €	- €	0,59 €	7,14 €	5,69 €	- €	0,50 €	6,19 €

- Si l'ensemble des conditions sont réunies, le prix de l'hydrogène rendu réservoir pourrait être ramené aux environs de 5 à 6 €/kg en 2050

Ces chiffres incluent une subvention de 50 % en 2020 et 30 % en 2030 sur les électrolyseurs et les *dispensers*

Une diminution par un facteur 2 du prix de revient de l'hydrogène sera-t-elle suffisante ?

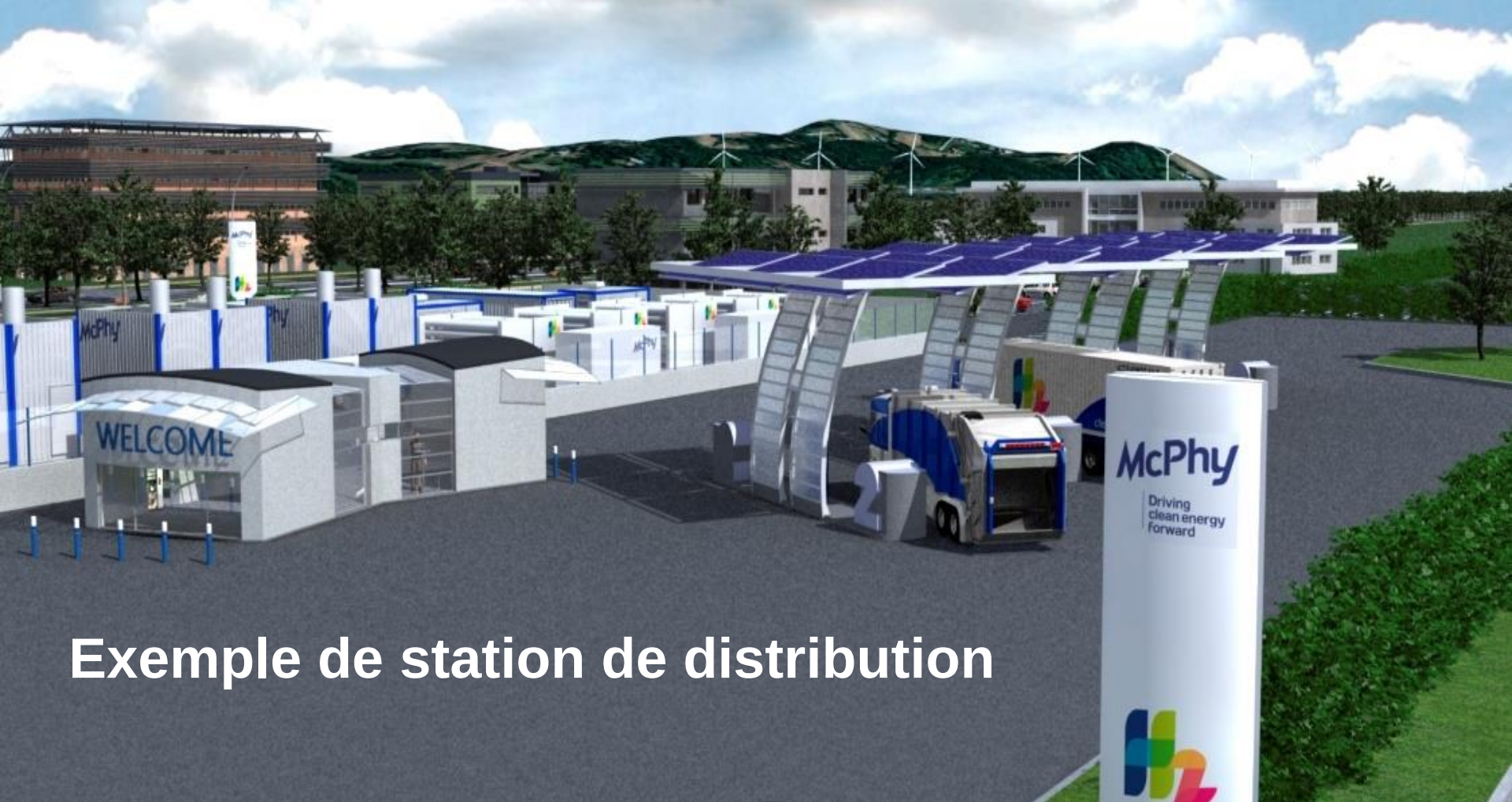
- Des calculs de coût total de possession ont été faits en tenant compte des progrès techniques et de la baisse probable des coûts y compris sur les véhicules
- La comparaison a été faite avec la solution électrique « batteries » et, pour mémoire, avec la solution diesel

En €/km	Trafic régional			Trafic longues distances		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Camions diesels	0,666 €	0,784 €	-	0,614 €	0,657 €	-
Camions électriques batteries	0,719 €	0,527 €	0,499 €	1,101 €	0,783 €	0,740 €
Camion hydrogène	0,978 €	0,787 €	0,696 €	0,926 €	0,793 €	0,631 €

- La solution hydrogène aura du mal à s'imposer pour le trafic exclusivement régional par rapport à la solution batteries, hors cas spécifiques.
- Elle peut prévaloir sur le trafic longues distances si les conditions sont réunies et en particulier si l'infrastructure requise est en place

Le problème de l'infrastructure

- La question de l'hydrogène n'est pas seulement une question d'électrolyseurs. C'est l'ensemble de la chaîne de production, de transport et de distribution qu'il faut mettre en place.
- Plusieurs schémas sont possibles :
 - ▶ production et distribution dans des hubs de grande capacité
 - ▶ production et distribution dans des stations locales
 - ▶ distribution dans des stations locales approvisionnées à partir des hubs par camions
 - ▶ production et ravitaillement dans les emprises des entreprises
- L'écosystème optimal est une combinaison de ces schémas, évolutive dans le temps en fonction de l'évolution des besoins.
- L'essentiel est « d'amorcer la pompe » en assurant d'emblée un service minimal acceptable

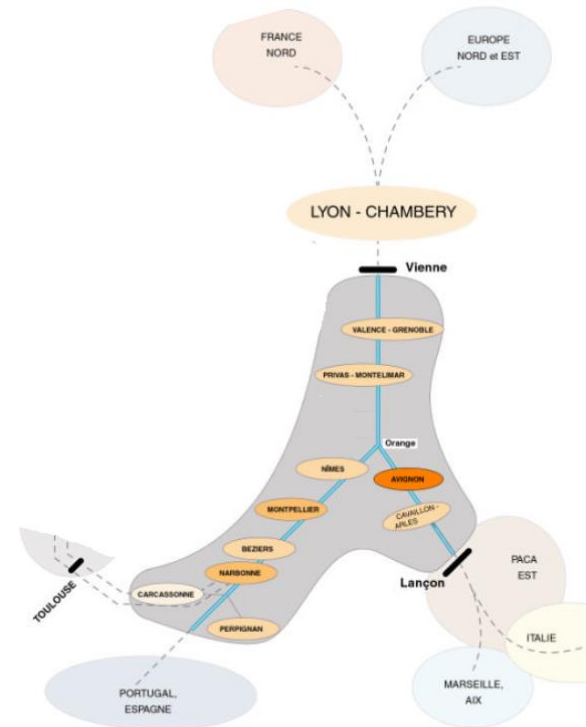


Exemple de station de distribution

Montée en puissance d'une infrastructure H₂

Cas-type des Autoroutes du Sud de la France (ASF)

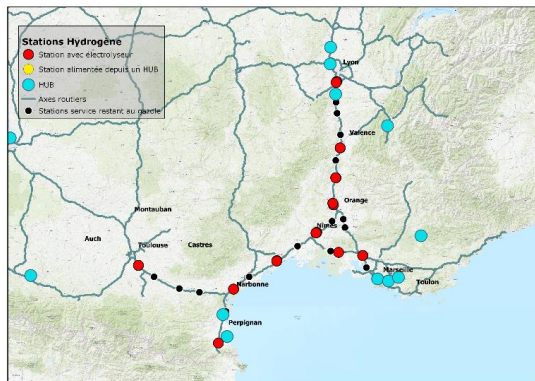
- Etude réalisée à partir des données de trafic disponibles sur un triangle de 750 km des ASF
- La montée du trafic peut se faire dès 2030 en faisant évoluer les installations.
- La production décentralisée par des stations dotées d'électrolyseurs de 5 à 20 MWe électriques s'impose assez vite, en complément des ravitaillements dans les hubs et dans les entreprises



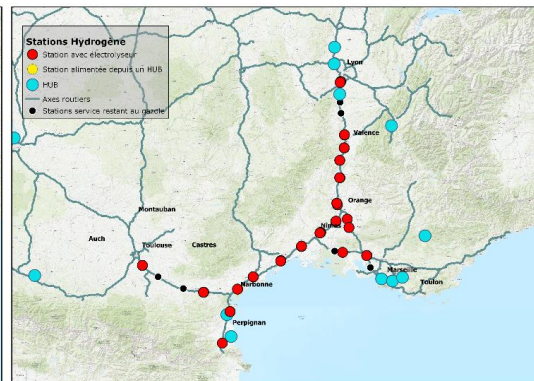
Source : Enquête PL - Nov. Déc. 2001

Esquisses de stratégies de développement dans les deux scénarios

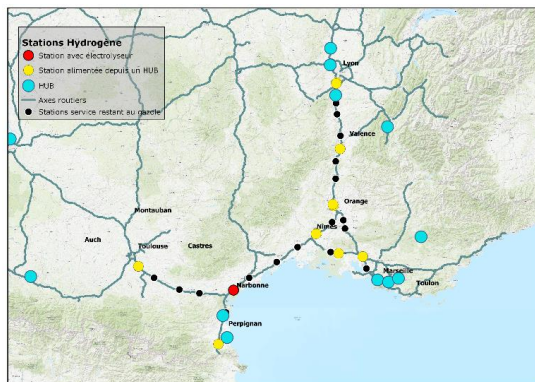
Scénario Haut
2030



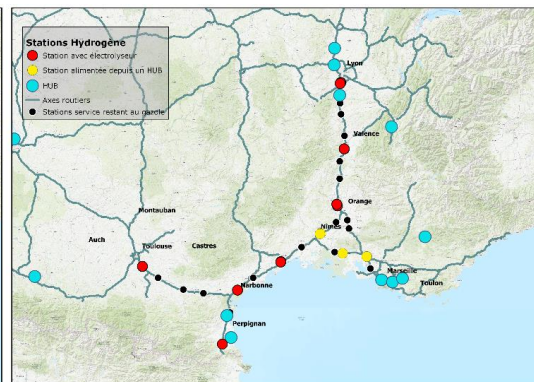
Scénario Haut
2050



Scénario Bas
2030



Scénario Bas
2050

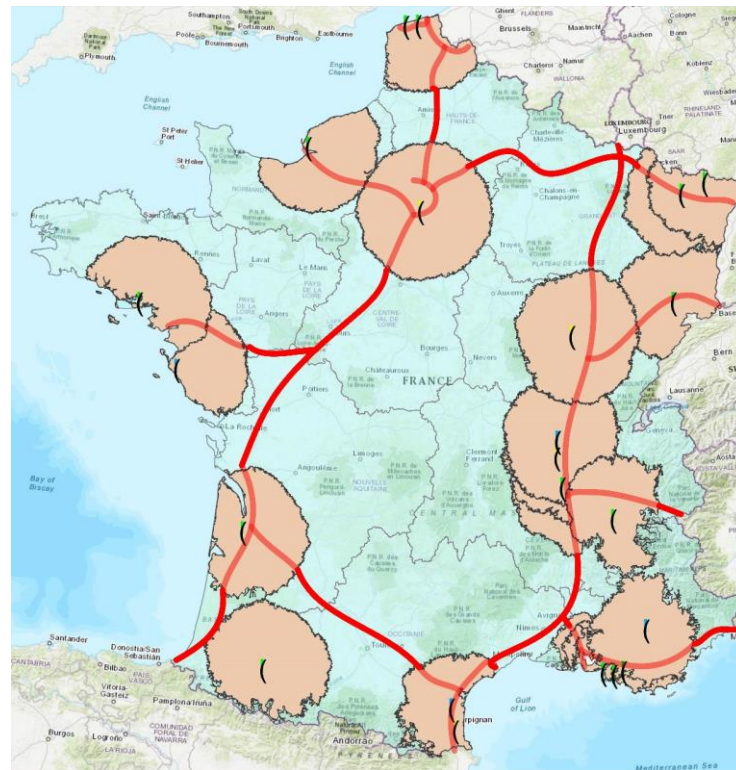


Conclusions

- L'hydrogène peut jouer un rôle important dans la décarbonation du transport lourd de marchandises
- Si cette option est retenue, elle doit être préparée et donner lieu à un véritable schéma directeur
- Les infrastructures doivent précéder la croissance du trafic pour donner confiance aux entreprises de transport
- Elles devront faire l'objet d'un programme de soutien évalué à 1 milliard d'euros sur une douzaine d'années
- De nouvelles formules de partenariats publics privés doivent être imaginées
- Le prix de l'électricité est un élément central. Aucune taxe nouvelle (du type accise à l'énergie) ne doit venir grever ni l'hydrogène ni l'électricité utilisée pour sa production par électrolyse (ni d'ailleurs la recharge des véhicules électriques)
- L'importation d'hydrogène à bas prix ou la fabrication d'hydrogène par d'autres voies que l'électrolyse ne sont pas des hypothèses à exclure

Vers des corridors de l'hydrogène

- Au niveau européen, la dispersion des projets doit être évitée
- Les soutiens européens doivent être orientés vers l'équipement du réseau RTE-T central, soit sur la base des hubs régionaux, soit par des stations réparties tous les 100 km environ
- L'équipement du RTE-T central aura ensuite un effet d'entraînement sur le réseau RTE-global, puis sur les autres axes et sur les autres segments de marché (véhicules légers)





Merci de votre attention



équilibre des énergies

Construisons une société énergétique meilleure