CARNAUTO

Trajectoire technologique pour les véhicules électriques :
batterie et/ou pile à combustible ?

La recherche CARNOT FILIÈRES pour les entreprises CARNAUTO

Plus d'innovations pour la compétitivité des PME de l'automobile et de la mobilité

Les instituts Carnot

La recherche pour les entreprises

- **Les instituts Carnot : structures de recherche publiques qui prennent des engagements forts pour développer la recherche partenariale au bénéfice de l'innovation des entreprises – de la PME au grand groupe – et des acteurs socio-économiques. Le réseau regroupe 39 instituts Carnot (labellisés par l'ANR). Plus d'info : http://www.instituts-carnot.eu/fr**

- **Carnauto : 9 instituts Carnot impliqués dans la filière automobile et mobilité. Objectif : renforcer la compétitivité et l'attractivité des ETI, PME et TPE en facilitant leur accès à l'innovation.**

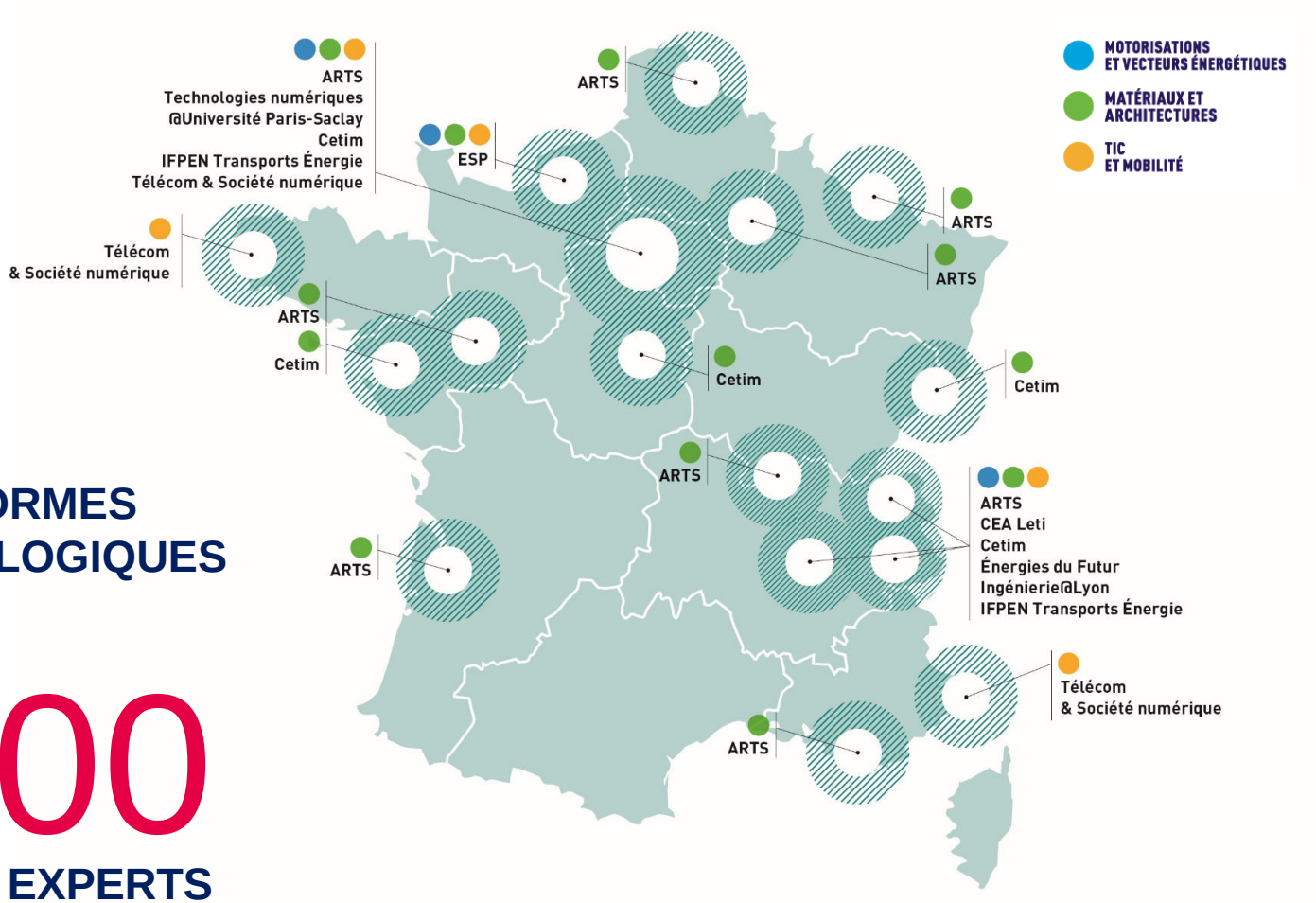
L'action filière Carnauto

Un fort ancrage en région

9 INSTITUTS CARNOT

50 PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES

8000 EXPERTS



SOMMAIRE

I. Présentation des 2 architectures véhicule et des besoins utilisateurs

a. Véhicule électrique à batterie (BEV)
b. Véhicule électrique à pile à combustible (FCEV)
c. Le besoin des utilisateurs

II. Enjeux et comparaison des 2 voies technologiques

a. Des enjeux multiples
b. Autonomie, stockage embarqué, ravitaillement
c. Infrastructures
d. Efficacité énergétique des 2 filières

III. Perspectives et conclusion

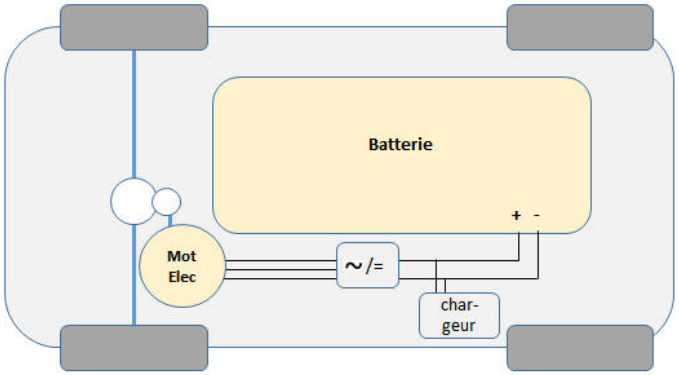
a. Les facteurs de progrès
b. Synthèse atouts / freins
c. Questions encore ouvertes
d. Conclusion

Le véhicule électrique à batterie (BEV)

Architecture générale du BEV

Le véhicule à batterie comporte notamment :

- au moins un **moteur électrique**
  - domaine des courants alternatifs ("AC")
- une **batterie** pour stocker l'énergie pour la traction
  - domaine des courants continus ("DC")
- des boîtiers d'**électronique de puissance**, en particulier :
  - un convertisseur AC/DC entre moteur et batterie
  - un chargeur embarqué (AC/DC)



De plus en plus de BEV acceptent la "recharge rapide" (DC)

- 50 kW et plus

Le véhicule électrique à pile à combustible (FCEV)

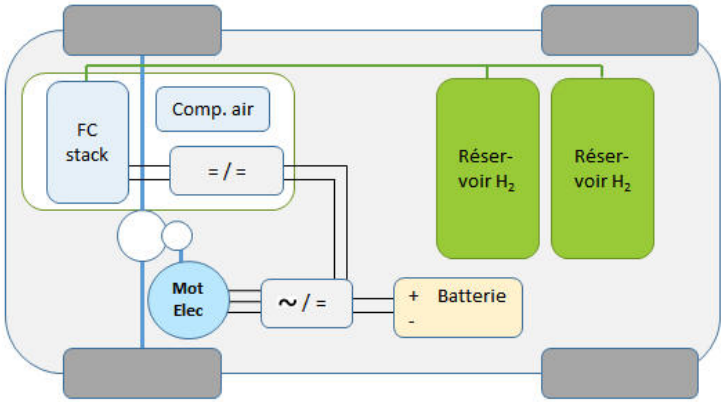
Architecture générale du FCEV

Le véhicule FC dispose de 2 sources d'énergie électrique :

- une **pile à combustible** (courants "DC")
- une **batterie** ("DC")
  - utilisée en tampon d'énergie

Le FCEV embarque également :

- un **système de stockage** d'hydrogène
- des boîtiers d'**électronique de puissance**, en particulier :
  - un convertisseur AC/DC entre **moteur élec**. et réseau électrique véhicule
  - un/des convertisseur(s) de tension DC/DC



Le besoin en énergie selon les applications

Les chiffres présentés ici sont des *ordres de grandeur* actuels, *dans une hypothèse d'autonomie de 500 km*

La consommation d'énergie est très tributaire des usages (profil de mission, conditions d'utilisation dont météo…)

	Besoin en énergie (Wh/km)	Énergie pour 500 km (kWh)	Équiv. en masse de batterie	Équiv. en masse H_2 (masse réservoir)	Exemples de FCEV (masse H_2 / énergie batterie)
Voiture	120 – 200	60 – 100	400 à 700 kg	env. 5 kg (100 kg)	Toyota *Mirai 2* : 5,6 kg / 1,2 kWh
Bus urbain	900 – 1400	450 – 700	3 à 5 tonnes	env. 35 kg	Safra *Businova* : 30 kg / 132 kWh
Poids lourd long routier	1400 – 2000	700 – 1000	4 à 7 tonnes	env. 50 kg (1 tonne)	Hyundai *xCient**: 32 kg / 73 kWh Mercedes GenH2**: 80 kg/ 70 kWh
Train régional	3000 – 5000	1500 – 2500	> 10 tonnes	env. 150 kg	Alstom *Coradia iLint* : 180 kg / - -

** véhicule de 19 tonnes en charge*
*** annoncé pour 2023 - 2025*

Enjeux et comparaison des 2 voies technologiques

Des enjeux multiples

Les enjeux sont nombreux. Citons en particulier :

- l'autonomie des véhicules, la durée du ravitaillement en énergie
- le déploiement des infrastructures de ravitaillement
- le vieillissement, la durabilité (batterie et FC)
- le coût total de possession (incluant éventuel remplacement batterie ou FC)
- le cycle de vie et l'analyse des émissions de gaz à effet de serre de l'ensemble de la filière
- le besoin en métaux (BEV : Li, Ni, Co… vs. FCEV : Pt)
- la sécurité, le FCEV étant "doublement concerné"

+ pour les BEV : tolérance à la recharge rapide, refroidissement batterie lors de la charge…

+ pour les FCEV : dimensionnement système refroidissement véhicule, pureté de l'hydrogène…

Autonomie, stockage embarqué, ravitaillement en énergie

BEV

- Plus limité en autonomie
  - handicap pour les véhicules d'usage intensif et pour les véhicules lourds
- Solution courante probable : Recharge lente nocturne + compléments en charge rapide en journée (selon besoin)
  - aujourd'hui chargeurs jusqu'à 350 kW
- Risque sur les batteries : quelle durabilité si recharge rapide trop fréquente ?

FCEV

- Réservoirs :
  - stockage gazeux : 5 à 7% de masse utile
    - 5 kg d'H2 <=> 100 kg de système réservoir
    - aujourd'hui réservoirs cylindriques : encombrants
- Ravitaillement en quelques minutes

photo IFPEN

Déploiement des infrastructures

Les 2 voies technologiques sont très tributaires du déploiement des infrastructures de ravitaillement

BEV

Le déploiement est plus avancé (que pour la filière H_2)

Besoin en équipements aux différents niveaux :

- "accès à la prise", équipement à domicile
- entreprises
- domaine public : bornes et chargeurs rapides

FCEV

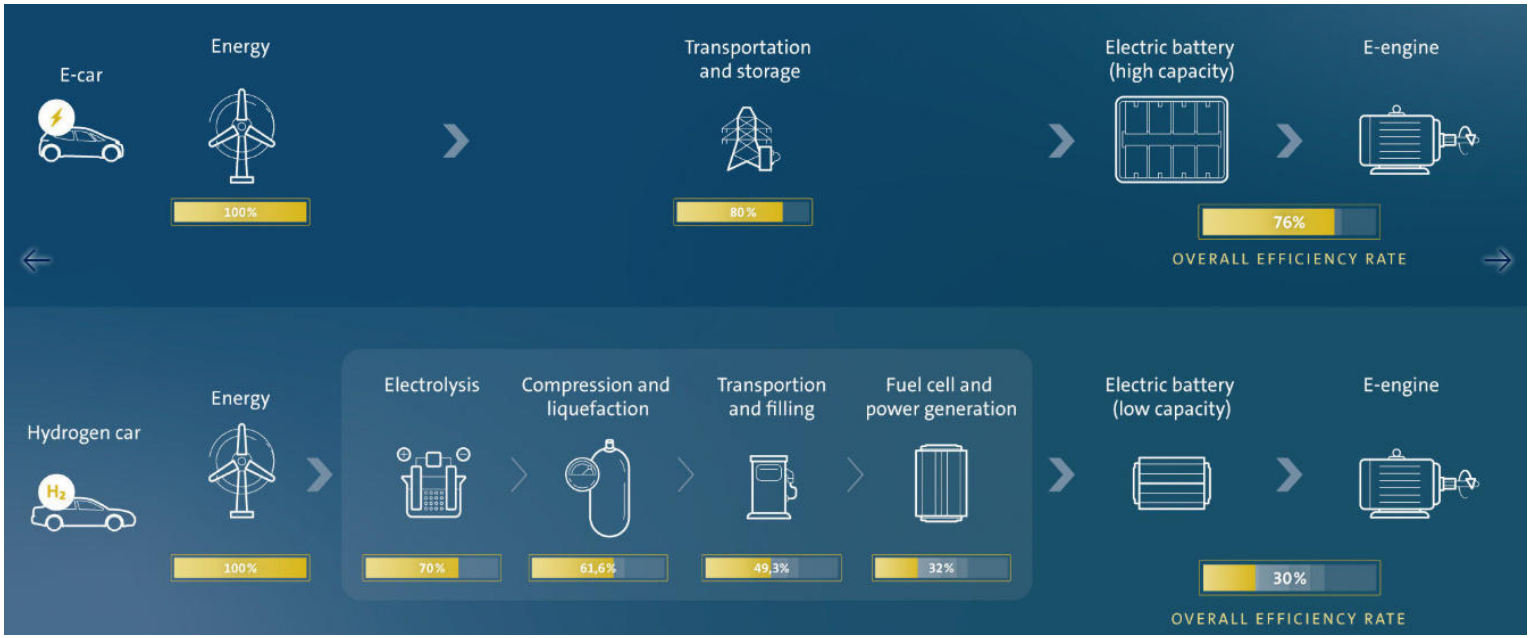
- Stations : 350 / 700 bar
- Nécessite en parallèle le déploiement d'un réseau **d'électrolyseurs** et de distribution d'hydrogène

Source : Air Liquide

Efficacité énergétique des 2 filières

Sur l'ensemble de la chaîne, il faut 2 à 3 fois moins d'énergie électrique pour parcourir 1 km avec un BEV

Illustration empruntée à Volkswagen Group (extrait)



Perspectives et conclusion

Besoin en innovation / évolution des technologies : BEV

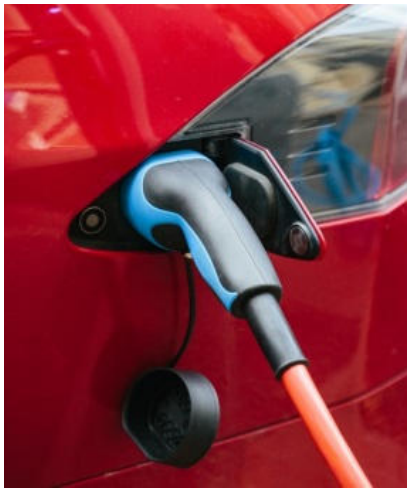
La technologie des batteries évolue rapidement

Les performances s'améliorent significativement, année après année

- nouvelles formulations d'électrodes, batterie lithium "tout solide"
- un presque doublement des capacités de stockage des batteries à moyen terme ?
- les futures batteries devraient supporter de mieux en mieux la recharge rapide

Le coût diminue régulièrement

- cadences, nouvelles usines
- diminution d'un facteur 4 à 5 en moins d'une décennie



Besoin en innovation / évolution des technologies : FCEV

Très récente, la technologie des véhicules FCEV est amenée à progresser rapidement

- Rendement des systèmes FC
- Optimisation du dimensionnement du couple FC + batterie
  - contrôle optimal du couple FC + batterie : rendement, répartition de puissance, vieillissement
- Systèmes de stockage
  - réservoirs polymorphes
  - stockage liquide cryogénique, "vecteurs d'hydrogène" sous forme de liquide (LOHC) voire de pâte
- Baisse des coûts
  - industrialisation, monté en cadence
  - progrès : auxiliaires système FC, teneur en platine

Cf. conférence Carnauto du 04/02/2021 : "*La pile à combustible PEM pour la mobilité*"

Synthèse : atouts / freins

BEV

- ATOUTS :
  - Bon rendement énergétique de la filière complète
  - Relative "simplicité" de l'architecture véhicule
  - Infrastructures de recharge en cours de déploiement
- FREINS :
  - Autonomie, notamment pour les usages intensifs et les applications lourdes
  - Besoin en métaux : Li, (Ni, Co)

FCEV

- ATOUTS :
  - Autonomie
  - Ravitaillement en quelques minutes
- FREINS :
  - Nécessite le déploiement d'un double réseau: stations distribution H_2 + réseau d'électrolyseurs
  - Architecture véhicule complexe (intégration électrique + H_2, contraintes sécurité)
  - Besoin en platine

Questions encore ouvertes

Il faut aussi considérer :

- le coût à l'achat et le coût total de possession
  - pour les FCEV : dépend du coût de l'hydrogène, de la durabilité FC
- le cycle de vie (des filières complètes)
- la nécessaire <u>production d'électricité à faible contenu carbone</u> (pour les 2 filières)
  - encore plus important pour la mobilité hydrogène du fait d'un rendement énergétique défavorable

dans un contexte en permanente évolution (progrès techniques, déploiement filières industrielles, volonté politique, attentes sociétales… et des consommateurs)

Conclusion

A terme, il y aura vraisemblablement coexistence des 2 solutions technologiques :

- des **véhicules à batterie**, plutôt sur les applications légères
- des **véhicules à pile à combustible**, plutôt sur les applications lourdes ou d'usage intensif
  - pour l'hydrogène, considérer aussi une alternative possible : le moteur à combustion d'hydrogène? (Dépendra de la définition qui sera retenue pour les "véhicules zéro émission")
- quid des engins non routiers ("off-road") ?

Le développement de ces véhicules est conditionné au déploiement des infrastructures de ravitaillement

Ces filières, et plus encore pour les véhicules à hydrogène, n'ont de sens que si la production d'électricité est décarbonée

Nous suivre, nous contacter

www.carnauto.fr

entreprises@carnauto.fr

Carnauto

@FiliereCarnauto