

# QUELLE MOTORISATION POUR UN BHNS ?

Accompagnement de la Communauté Urbaine du Grand Reims

JM RST 4 juillet 2023

Cerema - Dter Est

Solenne Cortès



# PREMIERS PAS D'UNE APPROCHE À DÉVELOPPER







- Décrire **le niveau de service** souhaité et la réglementation qui s'applique pour identifier les offres en MR disponibles
- Identifier **les enjeux énergétiques du territoire** et les lier à l'approvisionnement de flottes publiques
- Identifier les enjeux de la motorisation sur l'**exploitation du réseau TC**
- Calculer **un coût total de possession** sur la durée de vie des flottes
- ~~Généraliser la réflexion à l'échelle d'une flotte d'autobus~~

# MATÉRIELS DISPONIBLES EN 18 MÈTRES

Niveau de service BHNS exigeant :

- Desserte du centre ville
- Intensité journalière forte (cible de 200 à 250 km/jour/autobus)
- Amplitude horaire importante (5h-23h)
- Pas de flexibilité de l'itinéraire (réseau structurant)
- Fréquentation 15 000 voyages/jour (18 mètres – fréquence 10')

Quatre technologies répondent au besoin :

- **Autobus GNV**
  -  Nombreux constructeurs – Rex disponibles – Equipements qualitatifs
  -  Emissions de GES lors de la circulation – véhicules plus bruyants
- **Autobus électriques à batteries avec recharge en ligne**
  -  Nombreux constructeurs – qq systèmes en BHNS – propre – ACV amélioré - bruit
  -  matériels nouveaux : batteries et système de recharge en ligne (intensité forte)
- **Autobus électriques à hydrogène**
  -  Nombreux projets - propre – ACV amélioré – véhicules silencieux
  -  2 constructeurs (un seul modèle en circulation) – Avitaillement à construire – matériels nouveaux : PAC, réservoirs H2, batteries
- ~~Trolley Bus~~

# PANORAMA DES BUS ÉLECTRIQUES



# ENJEUX ÉNERGÉTIQUES DU TERRITOIRE

Pour le Grand Reims :

- Des projets de méthanisation mais une concurrence d'usage du biogaz produit localement (chauffage urbain)
- Pas de projet de production H2 sur le territoire à ce jour mais des entreprises privées en recherche de débouchés assurés
- Des habitudes de gestion des alimentations électriques avec un tramway APS en centre ville
- L'installation d'une station GNV pour les autobus en cours

# EXPLOITATION DU BHNS : PENSER « SYSTÈME »

Un avitaillement moins flexible... qui réinterroge les métiers et contraint l'exploitation.



# COÛT TOTAL DE POSSESSION

## Création d'un tableau de calcul :

- Niveau de service : 2 lignes ; 1,6 M km/an ; 26 bus en ligne
- Fiche par motorisation
  - Investissement
  - Fonctionnement
- Restitution sous forme de graphiques

Fiche		Motorisation électrique à hydrogène	
Hypothèses			
Le coût de la station de production est inclus dans le prix de la molécule -> suppose l'existence d'une station			
Le prix de l'électricité est inclus dans le prix de la molécule -> Prix d'un véhicule ne comprend pas le renouvellement des batteries et PAC à la station de compression / distribution nécessite environ 800m <sup>2</sup> à trouver			
Nombre d'autobus > 18 mètres en circulation en France	8 autobus	Uniquement réseau de PAU	
Autobus sur le marché	Van Hool Equicity		
Autobus en projet	Solaris Urbino 18		
Année de mise en service d'un autobus avec cette motorisation en Fr	2024	Syndicat mixte des transports Artois-Gohelle (12m) / Pau / + espé	
Projets d'autobus > 18 mètres			

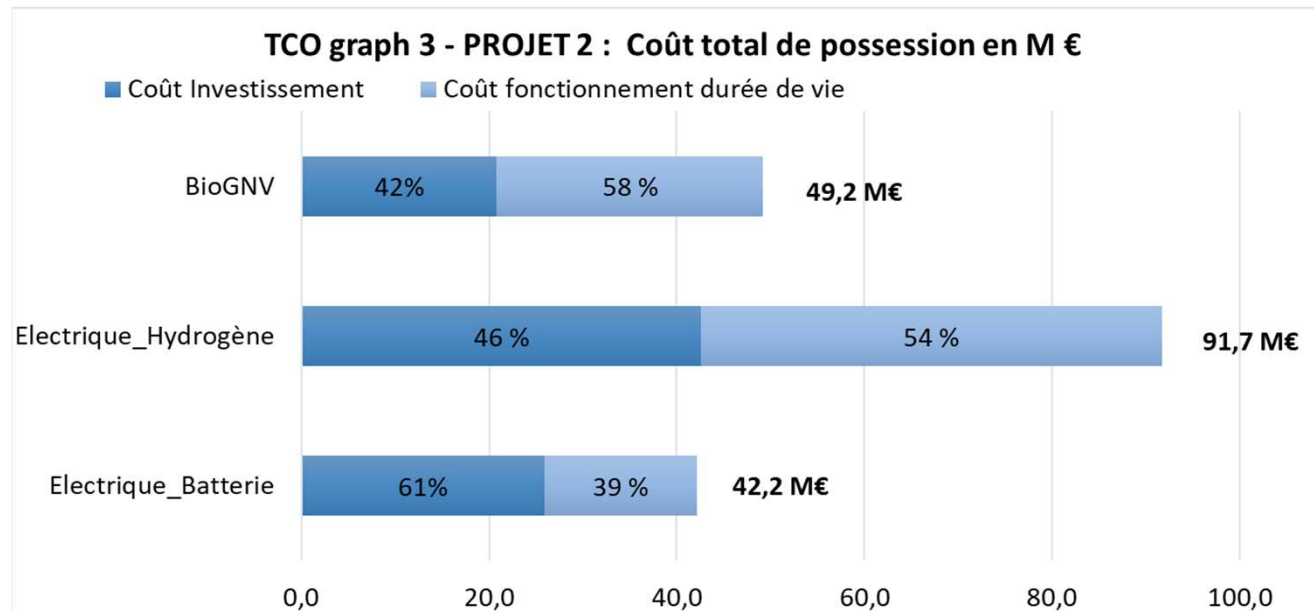
Fiche		Motorisation électrique à hydrogène	
1- Hypothèses du calcul			
Descriptif projet			
Prix d'un véhicule			
Location équipements			
Durée de vie			
Renouvellement mi-vie PAC			
Renouvellement mi-vie Batteries			
Renouvellement mi-vie Moteur/Batterie			
Niveau de réserve			
Station de distribution / compression			
Station de distribution / compression (2)			
Surplus distribution à la place			
Adaptation traveses pour la maintenance			
Adaptation atelier			
Maintenance lourde			
Remplacement équipements du MB (mi-vie)			
<b>TOTAL Coût Investissement</b>			
2- Calcul Coût Investissements			
Descriptif projet			
Prix d'un véhicule			
Location équipements			
Durée de vie			
Renouvellement mi-vie PAC			
Renouvellement mi-vie Batteries			
Renouvellement mi-vie Moteur/Batterie			
Niveau de réserve			
Station de distribution / compression			
Station de distribution / compression (2)			
Surplus distribution à la place			
Adaptation traveses pour la maintenance			
Adaptation atelier			
Maintenance lourde			
Remplacement équipements du MB (mi-vie)			
<b>TOTAL Coût Investissement</b>			
3- Calcul Coût fonctionnement			
Consommation			
Normatif (maintenance, conduite)			
Prix du carburant 1			
Prix du carburant 2			
Poids du carburant 2 dans la consom			
Autre (à préciser)			
Maintenance			
Formation (maintenance et conduite)			
Coût annuel maintenance MB			
Coût maintenance durée de vie MB			
Coût annuel maintenance - station			
Coût maintenance durée de vie - station			
Autonomie moyenne pour un bus de 1			
Empreinte carbone dont fabrication et			
nombre de bus dans la flotte			
<b>Total Coût fonctionnement annuel</b>			
<b>Total Coût fonctionnement durée de vie</b>			
4- Coût total de possession			
Coût total de possession			
Coût total de possession par kilomètre			
Niveau carbone			

Fiche		Motorisation BioGaz	
Hypothèses			
Travaux déjà présents, achat biométhane (garanti d'origine) -> suppose aucune production locale par méthanisation, coût du carburant basé sur un carburant 100% d'origine renouvelable -> Prix de l'énergie hors coût de la station de distribution			
Nombre d'autobus > 18 mètres en c			
Constructeurs - Autobus 18 m sur le			
Constructeurs - Autobus 18 m en proj			
Année de mise en service d'un autob			
Projets d'autobus > 18 mètres			
2- Calcul Coût Investissements			
Descriptif projet			
Prix d'un véhicule			
Location équipements			
Durée de vie			
Renouvellement mi-vie PAC			
Renouvellement mi-vie Batteries			
Renouvellement mi-vie Moteur/Batterie			
Niveau de réserve			
Station de distribution / compression			
Station de distribution / compression (2)			
Surplus distribution à la place			
Adaptation traveses pour la maintenance			
Adaptation atelier			
Maintenance lourde			
Remplacement équipements du MB (mi-vie)			
<b>TOTAL Coût Investissement</b>			
3- Calcul Coût fonctionnement			
Consommation			
Coût annuel carburant			
Coût carburant durée de vie			
Prix de la maintenance			
Maintenance			
Formation (maintenance et conduite)			
Coût annuel maintenance MB			
Coût maintenance durée de vie MB			
Coût annuel maintenance - station			
Coût maintenance durée de vie - station			
Autonomie moyenne pour un bus de 1			
Empreinte carbone dont fabrication et			
nombre de bus dans la flotte			
<b>Total Coût fonctionnement annuel</b>			
<b>Total Coût fonctionnement durée de vie</b>			
4- Coût total de possession			
Coût total de possession			
Coût total de possession par kilomètre			
Niveau carbone			

Fiche		Motorisation électrique à batteries	
Hypothèses			
Le prix d'un véhicule comprend le renouvellement de la batterie -> Prix de la maintenance ne comprenant pas le renouvellement de la batterie -> recharge rapide en ligne se réalisant sur terminus des deux lignes -> suppose d'un achat des batteries -> suppose de la nécessité d'un chargeur pour 2 bus			
Nombre d'autobus > 18 mètres en circulation en France			
Constructeurs - Autobus 18 m sur le marché			
Constructeurs - Autobus 18 m en projet			
Année de mise en service d'un autobus			
Projets d'autobus >			
2- Calcul Coût Investissements			
Descriptif projet			
Prix d'un véhicule			
Location équipements			
Durée de vie			
Renouvellement mi-vie			
Renouvellement mi-vie Batteries			
Renouvellement mi-vie Moteur/Batterie			
Niveau de réserve			
Station de distribution / compression			
Station de distribution / compression (2)			
Surplus distribution à la place			
Adaptation traveses pour la maintenance			
Adaptation atelier			
Maintenance lourde			
Remplacement équipements du MB (mi-vie)			
<b>TOTAL Coût Investissement</b>			
3- Calcul Coût fonctionnement			
Consommation			
Coût annuel carburant			
Coût carburant durée de vie			
Prix de la maintenance			
Maintenance			
Formation (maintenance et conduite)			
Coût annuel maintenance MB			
Coût maintenance durée de vie MB			
Coût annuel maintenance - station			
Coût maintenance durée de vie - station			
Autonomie moyenne pour un bus de 1			
Empreinte carbone dont fabrication et			
nombre de bus dans la flotte			
<b>Total Coût fonctionnement annuel</b>			
<b>Total Coût fonctionnement durée de vie</b>			
4- Coût total de possession			
Coût total de possession			
Coût total de possession par kilomètre			
Niveau carbone			

Quelle motorisation pour un BHNS ?  
Accompagnement de la CU du Grand Reims

# COÛT TOTAL DE POSSESSION

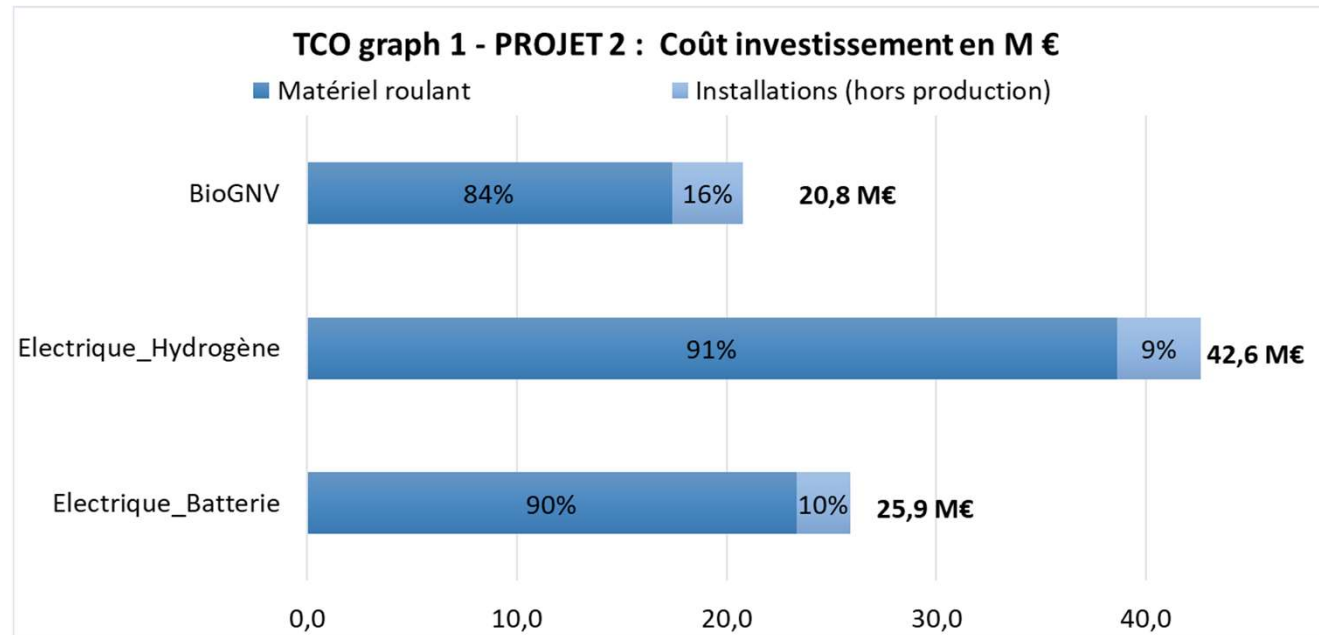


Du simple au double pour un niveau de service usagers identique

- Un renversement du poids Invest./Fonct. avec le passage à l'électrique



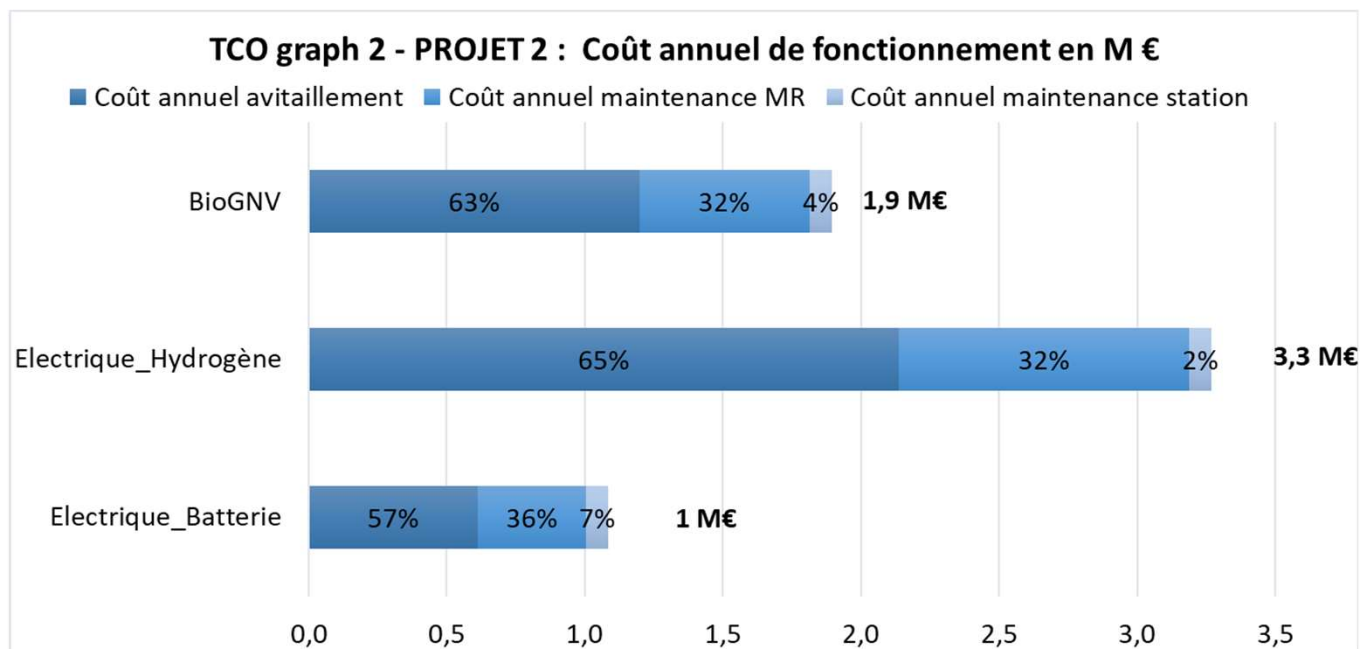
# COÛT TOTAL DE POSSESSION - INVESTISSEMENT



Des pistes d'amélioration pour les constructeurs et exploitant :

- Réduire le taux de réserve (obj. 15%)
- Allonger la durée de vie des véhicules électrique (15 ans)

# COÛT TOTAL DE POSSESSION - FONCTIONNEMENT



Des coûts de l'énergie variables qui ont fortement évolués :

- Pour 100 km, hypothèses mi-2022 :
  - 74 € pour le BioGaz (juin 2022 : 95 €/MWh) – 1,2 M€/an
  - 38 € pour l'électrique (juin 2022 : 0,12 €/kWh) – 0,6 M€/an
  - 132 € pour l'hydrogène (nov 2021 : 12 €/kg) – 2,1 M€/an

# REX, FILIÈRE H2 & TC

Prix fonction de la source de production d'hydrogène :

- Vaporeformage de méthane : hydrogène carboné ou bas carbone si mise en place de capture de CO<sup>2</sup>
- Electrolyse : hydrogène renouvelable ou bas carbone selon l'origine de l'électricité

Les objectifs de la stratégie française et européenne :

- Décarboner (notamment les processus industriels fortement émetteur)
- Industrialiser avec la création de la filière
- Massifier pour baisser les coûts de l'hydrogène bas carbone rapidement

=> *quid de la piste du stockage de l'énergie renouvelable ?*

Pourquoi des applications dans les transports collectifs ou les bennes à ordures ?

- **Décarboner** le secteur, en proposant une des alternatives aux défauts d'autonomie du système batterie (transports lourds ou intenses)
- **Industrialiser** en développant les technologies en Europe, avec la création de la filière (PAC et réservoirs notamment)
- **Dérisquer le montage de la filière globale, en créant des débouchés « TC » assurés sur fonds publics, dans l'attente de l'attractivité pour l'industrie. La future attractivité du prix de H2 dépend de**
  - L'amélioration du rendement global du processus
  - La baisse du prix de l'électricité utilisée (flexibilisation et stockage)

## REX, FILIÈRE H2 & TC

Quelques questions de la performance relative de l'usage de l'hydrogène dans un réseau urbain de TC pour les décideurs :

- La collectivité identifie-t-elle des industries qui doivent décarboner leurs processus, futures utilisatrices ?

Organiser la baisse des coûts d'H2 et accompagner la décarbonation des industries

- Quels sont les financements possibles des surcoûts de fonctionnements du réseau de mobilité pendant les premières années ?

Ne pas pénaliser le développement du réseau (et au minimum assurer son maintien !)

- Comment sécuriser l'approvisionnement et anticiper sur des situations monopolistiques de moyen terme ?

L'achat d'une flotte engage la collectivité sur 15 à 20 ans... voir plus quand la stratégie de renouvellement se décline sur plusieurs années.



Merci de votre attention