

ÉTUDE COMPARATIVE SUR LES DIFFÉRENTES MOTORISATIONS DE BUS

JUIN 2016



SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| I. Motorisation Diesel thermique | 4 |
| a. Technologie | 4 |
| b. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres Euro 6 thermique | 6 |
| II. Motorisation Gaz Naturel pour Véhicules | 7 |
| a. Principe de base | 7 |
| b. S'équiper en véhicules au Gaz..... | 8 |
| c. Les flottes gaz | 8 |
| d. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres GNV | 9 |
| III. Motorisation Hybride | 10 |
| a. Principe de base | 10 |
| b. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres hybride..... | 11 |
| IV. Motorisation Electrique | 12 |
| a. Principe de base | 12 |
| b. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres électrique avec achat des batteries | 12 |
| c. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres électrique avec location des batteries..... | 13 |
| V. Cas particuliers des minibus 20 places | 14 |
| a. Coût de possession d'un minibus Euro 6 thermique | 14 |
| b. Coût de possession d'un minibus électrique avec achat des batteries | 14 |
| c. Coût de possession d'un minibus électrique avec location des batteries..... | 15 |
| VI. Synthèse des coûts | 16 |
| VII. Focus sur les émissions polluantes | 17 |
| VIII. Les nouvelles technologies | 19 |
| a. L'Hybride – sans émission..... | 19 |
| b. La recharge en bout de ligne..... | 19 |
| c. Le biberonnage : La recharge à chaque arrêt | 20 |
| d. Les véhicules PAC (Pile à combustible – Hydrogène) | 21 |
| Sources..... | 22 |

PRÉAMBULE

Après une première édition en 2014, la Centrale d'Achat du Transport Public (CATP) a entièrement mis à jour son étude comparative sur les différentes motorisations de bus avec des données récentes pour comparer, sur des critères objectifs, les coûts de possession des véhicules à motorisations alternatives au diesel.

L'objectif de cette étude, réalisée en partenariat avec le Labo technique d'AGIR, est d'accompagner les acheteurs publics dans des achats performants, au meilleur coût et notamment de faciliter leur arbitrage vers l'énergie la plus performante pour leur réseau à partir de critères environnementaux, techniques et économiques.

Pour la réaliser, la CATP s'est principalement appuyée sur les données des constructeurs, obtenues dans le cadre des consultations de marchés publics qu'elle a menée depuis 2013 avec plus de 1 000 véhicules vendus ainsi que sur les retours des techniciens qui exploitent et entretiennent les véhicules. Enfin, elle a pris en compte diverses études et documents (ADEME, Cetim...).

Les principales motorisations des véhicules y sont étudiées – Diesel thermique EURO 6, GNV, hybride et électrique – sur 3 critères économiques :

- Coût moyen d'acquisition : prix moyen constaté depuis 2013
- Coût moyen d'exploitation : issu des cycles SORT constructeurs
- Coût moyen de maintenance préventive : données constructeurs.

Les bases de comparaison de l'étude sont les suivantes :

- Bus standard : 12m
- Durée de vie : 12 ans
- Kilométrage : 40 000 km/an soit 480 000 km sur les 12 ans.

Cette comparaison multicritères permet d'obtenir une idée précise du coût global de possession d'un véhicule sur sa durée de vie et en prenant notamment en compte le coût des carburants.

Créées par des collectivités et au service des collectivités, la CATP partage leur volonté de diminuer la pollution générée par les transports publics, notamment en facilitant leurs achats de bus à énergies alternatives.

En outre, la CATP considère que les coûts élevés de ces investissements ne doivent pas conduire à un ralentissement du renouvellement des véhicules les plus anciens ou à une réduction des parcs de bus limitant l'offre de transport alternative à l'automobile. Ces 2 phénomènes seraient contraires aux objectifs de développement d'une mobilité plus durable et de report modal vers les transports publics.

I. MOTORISATION DIESEL THERMIQUE

a. Technologie

Le diesel est l'énergie dominante en nombre de véhicules vendus. A la recherche d'une diminution des émissions polluantes, les premières normes imposées aux constructeurs de véhicules datent de 1990 (Euro 0). A mesure que les seuils de restrictions d'émissions ont été abaissés, les performances techniques des moteurs thermiques ont largement été améliorées.

La norme la plus récente, en vigueur depuis le 1er Janvier 2014, est la norme Euro 6. Elle impose des seuils maximum d'émissions très faibles par rapport aux anciens véhicules :

- 0.4 g/kWh de NOx,
- 1.5 g/kWh de CO,
- 0.13 g/kWh de HC,
- 0.01 g/kWh de Particules.

Evolution de la norme Euro

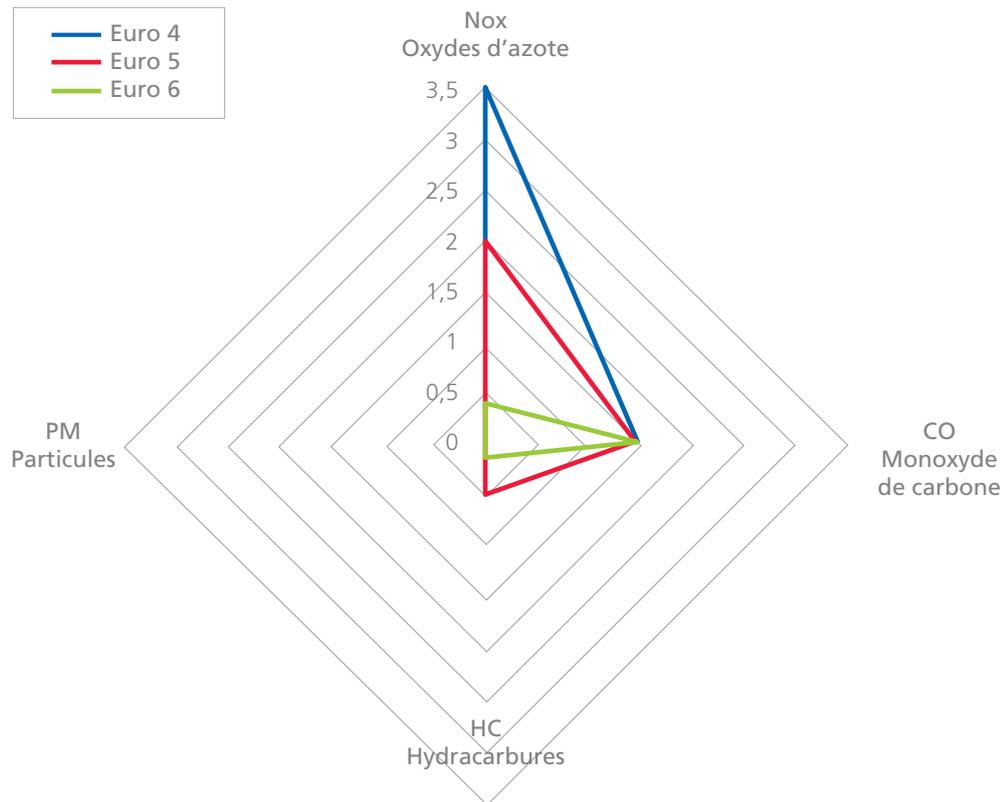
| g/kWh | Euro 1 (1.10.93) | Euro 2 (1.10.96) | Euro 3 (1.10.01) | Euro 4 (1.10.06) | Euro 5 (1.10.09) | Euro 6 (1.01.2014) |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| NOx Oxydes d'azote | 9 | 7 | 5 | 3,5 | 2 | 0,4 |
| CO Monoxyde de carbone | 4,9 | 4 | 2,1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| HC Hydrocarbures | 1,23 | 1,1 | 0,66 | 0,46 | 0,46 | 0,13 |
| PM Particules | 0,36 | 0,15 | 0,13 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |

Au 1er janvier 2015, le parc bus français (hors RATP) se décomposait de la façon suivante :

Répartition du parc en service selon la norme Euro du véhicule

| | |
|-----------------------|---------------|
| Avant Norme et Euro 0 | 246 |
| Euro 1 | 667 |
| Euro 2 | 3 398 |
| Euro 3 | 5 451 |
| Euro 4 | 3 004 |
| Euro 5 + EEV | 7 598 |
| Euro 6 | 1 026 |
| Total | 21 562 |

Comparaison des valeurs limite d'émissions (Normes 4 à 6)



À noter

En plus de ses bénéfices pour l'environnement, liés à la réduction des émissions de NOx de 55 % et hydrocarbures de 25 % entre l'Euro 5 et l'Euro 6, la norme Euro 6 a permis aux constructeurs de développer des moteurs qui consomment moins de carburant.

Une diminution de consommation de 5 % par rapport à l'Euro 5 était annoncée par la plupart des constructeurs. Après 2 ans d'exploitation pour les premiers Euro 6 livrés, le Labo Technique d'AGIR a constaté sur le terrain une réduction de consommation de l'ordre de 5.9 % entre les véhicules standards 12m Euro 5 et Euro 6.

b. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres Euro 6 thermique

■ Coût moyen d'acquisition

(options comprises)

- 261 450 € HT

■ Coût moyen d'exploitation

(base 0,9506 €/L HT),
source INSEE, moyenne 2015

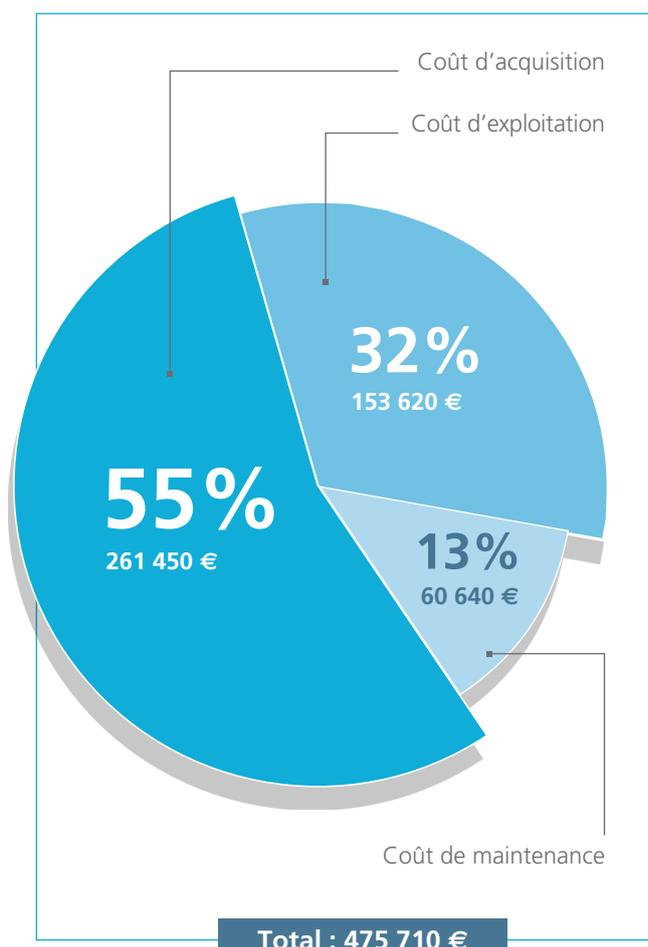
- SORT 1 : 38.7 L / 100 km
> 176 430 € HT
- SORT 2 : 33.7 L / 100 kms
> 153 620 € HT
- SORT 3 : 31.3 L / 100 kms
> 142 970 € HT

■ Coût moyen de maintenance préventive

- 0,13 €/km > 60 640 € HT

■ Coût de possession total sur la durée de vie (base SORT 2) : 475 710 € HT

A noter que 32% du prix de possession sur les 12 ans est lié au prix du gasoil.



II. MOTORISATION GAZ NATUREL POUR VÉHICULES

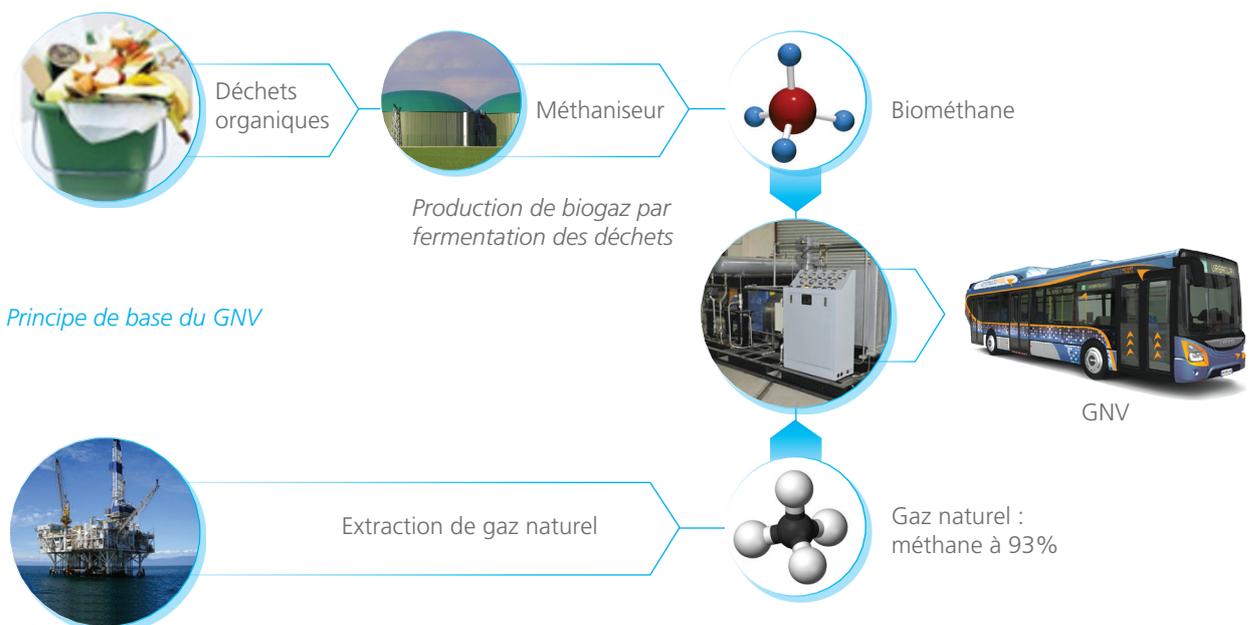
a. Principe de base

Les bus au gaz ont fait leur apparition en France au début des années 90 à titre expérimental mais c'est véritablement à partir de 1998 que les ventes de bus GNV ont progressé de manière significative dans l'hexagone.

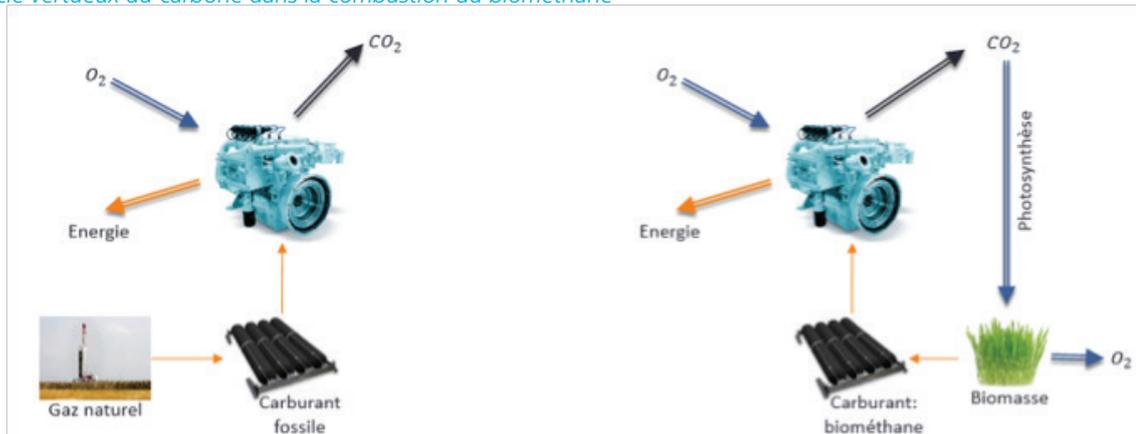
Le gaz utilisé pour les transports publics peut être soit du gaz naturel, composé de méthane à 93 %, soit du biogaz issu de la fermentation de déchets ménagers ou des boues d'épuration.

Le gaz est ensuite comprimé à 200-220 bars et stocké dans des bouteilles.

Outre la réduction des Nox, Particules et Hydrocarbures, la combustion du gaz naturel ne produit également ni oxyde de soufre, ni plomb, ni poussières et peu d'oxydes d'azote.



Cycle vertueux du carbone dans la combustion du biométhane



b. S'équiper en véhicules au Gaz



Un réseau décidant d'investir dans une flotte de véhicule au gaz doit prendre en compte le coût et les contraintes techniques spécifiques à l'aménagement d'un atelier/dépôt « gaz ».

Le méthane étant un gaz incolore et inodore, les atelier/dépôts doivent respecter des normes de sécurités (ventilations spécifiques, détecteur

de gaz, outillages spécifiques, etc.)

De plus, une station de compression est indispensable pour assurer le remplissage en carburant des véhicules GNV. Le remplissage étant lent, il se fait généralement de nuit. Chaque emplacement de stationnement doit donc posséder une arrivée de gaz.

c. Les flottes gaz

Au 1er janvier 2015, 11% du parc français circulait au GNV (2 381 véhicules). Les plus grosses flottes se situant à Lille, Bordeaux, Nantes et Toulouse.

A titre d'exemple, en 2016, le réseau de Tisséo-Toulouse compte une flotte de 248 véhicules au gaz. 50% des 24 millions de km du réseau

étant effectués au gaz. Les week-ends, ce ratio passe pratiquement à 100%.

En Europe, la Russie (10 000 véhicules GNV) l'Arménie (17 300 véhicules) et surtout l'Ukraine (232 788 véhicules) sont leaders des véhicules au gaz.

d. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres GNV

■ Coût moyen d'acquisition

(options comprises)

- 329 520 €

Dont infrastructure : 25 000 € / véhicule environ (base : 750 000 € pour un parc de 30 véhicules GNV)

■ Coût moyen d'exploitation

(base 0,40 € /Nm³ 3 HT)

- SORT 1 : 58.8 Nm³ / 100 km
> 112 830 €
- SORT 2 : 48.2 Nm³ / 100 km
> 92 500 €
- SORT 3 : 43.6 Nm³ / 100 km
> 83 650 €

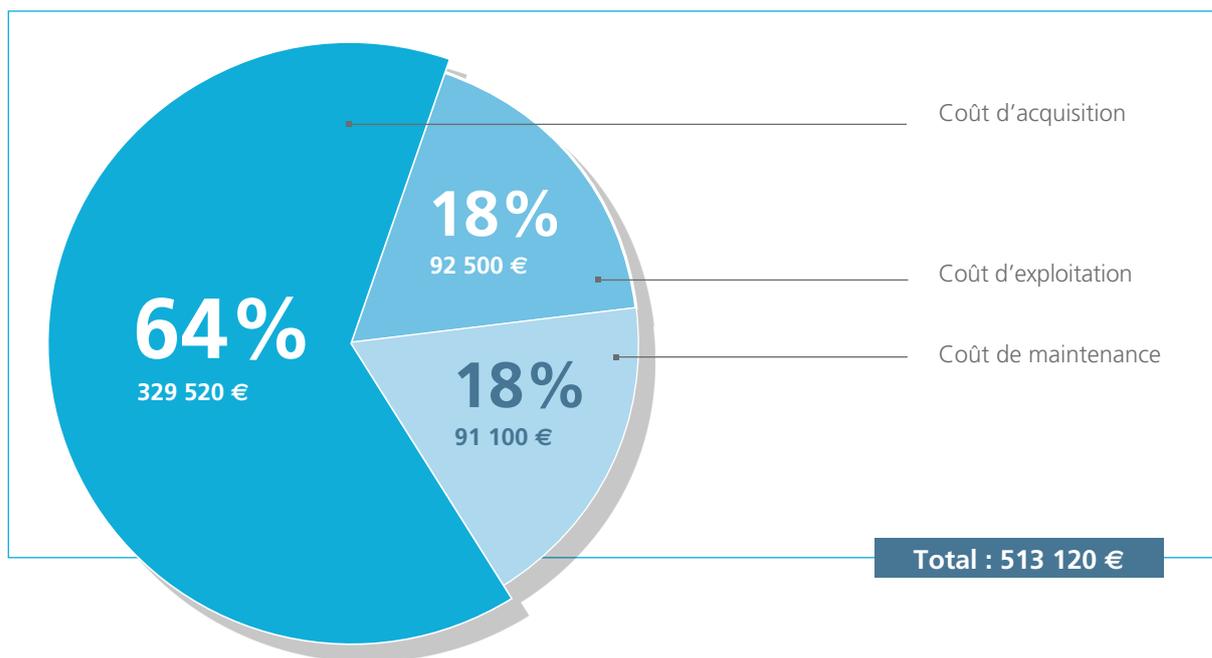
■ Coût moyen de maintenance préventive

- 0,19 € / km > 91 100 €

Dont « CID » (contrôle par inspection détaillée) obligatoires pour la vérification des circuits d'alimentation et des bouteilles. Opération à effectuer tous les 3 ans = 730 € / visite.

■ Coût de possession total sur la durée de vie (base SORT 2) :

513 120 € HT



Sur une durée de 12 ans, les coûts d'un bus GNV sont, en moyenne, 8% plus importants que ceux d'un Euro 6 thermique

III. MOTORISATION HYBRIDE

a. Principe de base

Un véhicule hybride allie 2 voire 3 types de motorisation :

- un moteur diesel et un moteur électrique
- un moteur diesel et un moteur hydraulique
- un moteur diesel, un moteur électrique et un moteur hydraulique.

La combinaison de motorisation la plus répandue est l'hybridation diesel/électrique. Les véhicules hybrides disposent donc de deux sources d'énergie : carburant diesel et électricité.

Les premiers véhicules hybrides ont fait leur apparition en France en 2009, dans le cadre d'essais. Au 1er janvier 2015, ils représentent 1.4% du parc français avec des flottes importantes en région parisienne, à Dijon, à Bordeaux et à Toulouse.

Aujourd'hui, 2 types d'hybridation sont proposés sur le marché :

■ HYBRIDE SÉRIE

Le moteur thermique est couplé à un générateur qui alimente un moteur électrique. L'énergie générée au freinage est récupérée et stockée dans des supercondensateurs qui peuvent la restituer. Le moteur thermique se coupe automatiquement à l'arrêt (fonction stop & start). Les supercondensateurs sont ensuite sollicités lors du redémarrage. Le moteur thermique n'est sollicité pour fournir l'énergie nécessaire au générateur, que lorsqu'il n'y a plus d'énergie électrique.

La motorisation thermique de ces véhicules est moins puissante que celles de leurs équivalents classiques.

L'intégralité de l'entraînement des roues est fournie par le moteur électrique.

■ HYBRIDATION PARALLÈLE

Le moteur thermique et le moteur électrique sont sur un même axe. Le moteur électrique assiste le moteur thermique lors des accélérations et récupère l'énergie en décélération / freinage. Le moteur thermique se met en route à partir d'une vitesse de 20 km/h.

Les deux moteurs fournissent de la puissance aux roues, avec la possibilité de plusieurs scénarii de répartition.

Le principal avantage de cette technologie est la réduction de la consommation de carburant ainsi que des émissions polluantes (CO2 et NOx) qui découle de cette optimisation de la gestion d'énergie.

b. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres hybride

■ Coût moyen d'acquisition

(options comprises)

- 393 903 € HT

■ Coût moyen d'exploitation

(base 0,9506 € /L HT),
source INSEE, moyenne 2015

- SORT 1 : 29.7 L / 100 km
> 135 520 € HT
- SORT 2 : 27.6 L / 100 kms
> 125 820 € HT
- SORT 3 : 26.7 L / 100 kms
> 121 600 € HT

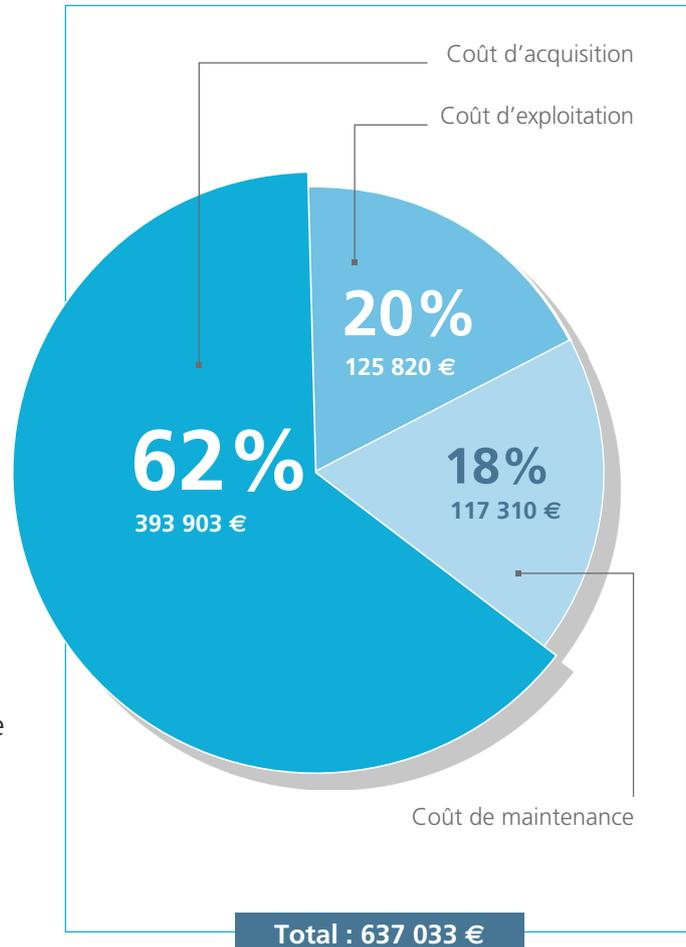
■ Coût moyen de maintenance préventive

- 0,24 € /km > 117 310 € HT

Dont achat d'un nouveau pack batterie à changer une fois dans la vie du véhicule = 40 000 €

■ Coût de possession total sur la durée de vie (base SORT 2) :

637 033 € HT



Sur une durée de 12 ans, les coûts d'un bus hybride sont, en moyenne, 34% plus importants que ceux d'un Euro 6 thermique

IV. MOTORISATION ELECTRIQUE

a. Principe de base

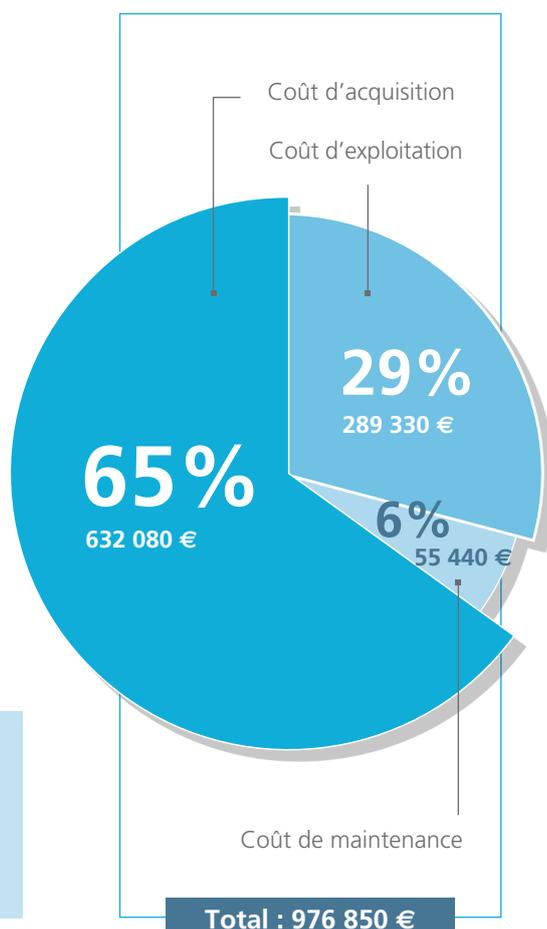
Les véhicules électriques fonctionnent sur le même principe que les véhicules thermiques, c'est-à-dire grâce à une chaîne de traction fonctionnant avec un moteur électrique alimenté par des batteries. Le stockage de l'énergie est assuré par des batteries d'accumulateurs au lieu du réservoir de carburant des véhicules thermiques. La puissance de ces moteurs électriques permet une vitesse suffisante pour une utilisation urbaine.

La technologie des batteries a considérablement évolué ces dernières années. Elles peuvent aujourd'hui assurer une autonomie d'environ 200 km aux véhicules électriques. Cette autonomie est notamment améliorée grâce à un système de récupération de l'énergie cinétique pendant les phases de décélération ou de freinage.

b. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres électrique avec achat des batteries

- **Coût moyen d'acquisition** (options comprises)
 - 632 080 € HT Dont 237 750 € d'achat de batteries et 25 000 € de station de chargeur
- **Coût moyen d'exploitation** (base 0,07 € /kwh),
source INSEE, moyenne 2015
 - SORT 1 : 1,7 kwh / km > 57 120 €
 - SORT 2 : 1,65 kwh / km > 55 440 €
 - SORT 3 : 1,5 kwh / km > 50 400 €
- **Coût moyen de maintenance préventive**
 - 0,60 € /km > 289 330 € HTDont achat d'un nouveau pack batterie à changer une fois dans la vie du véhicule = 237 750 €
- **Coût de possession total sur la durée de vie**
(base SORT 2) : 976 850 € HT

Sur une durée de 12 ans, les coûts d'un bus électrique (batteries achetées) sont, en moyenne, 105% plus importants que ceux d'un Euro 6 thermique



c. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres électrique avec location des batteries

■ Coût moyen d'acquisition

(options comprises)

- 912 730 € HT

Dont 25 000 € de station de charge et 3600 € /mois/véhicule de location de batterie

■ Coût moyen d'exploitation

(base 0,07 € /kwh),

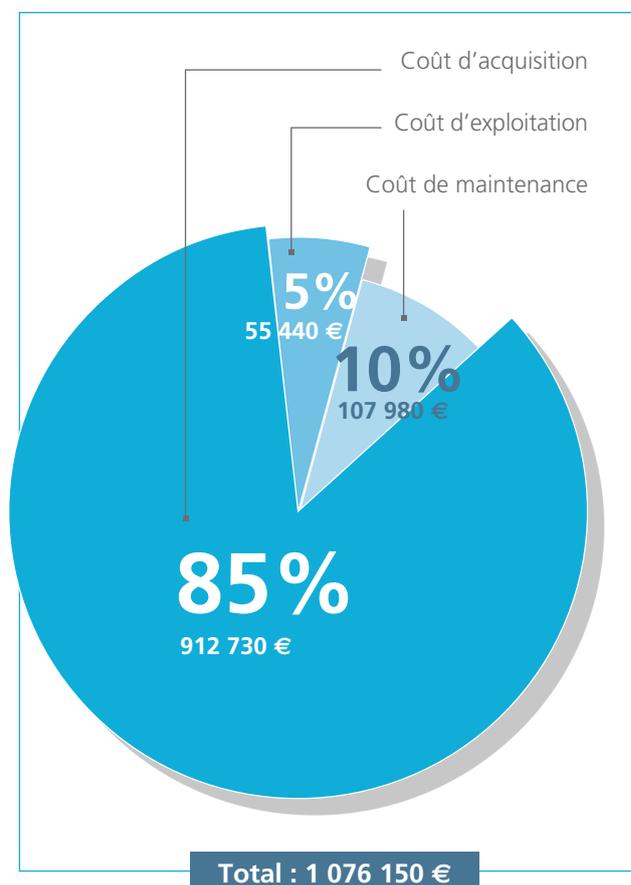
- SORT 1 : 1,7 kwh / km > 57 120 €
- SORT 2 : 1,65 kwh / km > 55 440 €
- SORT 3 : 1,5 kwh / km > 50 400 €

■ Coût moyen de maintenance préventive

- 0,22 € /km > 107 980 € HT
Dont maintenance des batteries = 400 € / mois / véhicule

■ Coût de possession total sur la durée de vie (base SORT 2) :

1 076 150 € HT



Sur une durée de 12 ans, les coûts d'un bus électrique (batteries louées) sont, en moyenne, 126% plus importants que ceux d'un Euro 6 thermique



À noter

Sur 12 ans d'exploitation, l'achat des batteries permet une réduction du coût de possession du véhicule de plus de 20 points par rapport à la location des batteries.

Irizar i2e électrique – réseau RTM >

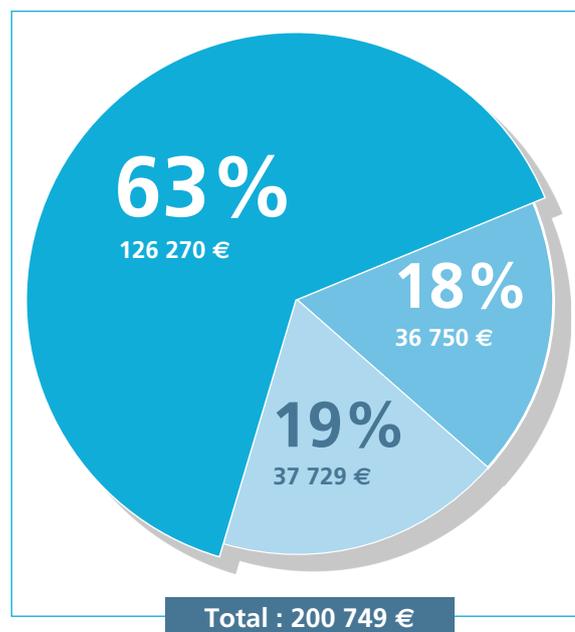


V. CAS PARTICULIERS DES MINIBUS 20 PLACES

a. Coût de possession d'un minibus Euro 6 thermique

Base de calcul : 35 000 kms par an sur 7 ans soit 245 000 km

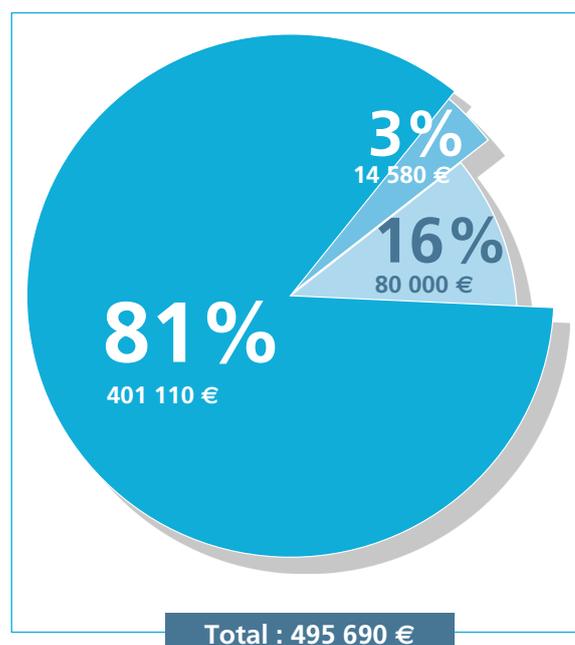
- **Coût moyen d'acquisition** (options comprises)
 - 126 270 € HT
- **Coût moyen d'exploitation** (base 0,9506 € /L HT) *source INSEE, moyenne 2015*
 - SORT 1 : 19.2 L / 100 km > 44 716 €
 - SORT 2 : 16.2 L / 100 km > 37 729 €
 - SORT 3 : 14.3 L / 100 km > 33 304 €
- **Coût moyen de maintenance préventive**
 - 0,15 € /km > 36 750 € HT
- **Coût de possession total sur la durée de vie** (base SORT 2) : 200 749 € HT



b. Coût de possession d'un minibus électrique avec achat des batteries

Base de calcul : 35 000 kms par an sur 7 ans soit 245 000 km

- **Coût moyen d'acquisition** (options comprises)
 - 401 110 € HT Dont 210 240 € d'achat de batteries et 17 000 € de station de charge
- **Coût moyen d'exploitation** (base 0.07 € /kwh)
 - SORT 1 : 0.85 kwh / km > 14 580 €
Compte tenu de l'utilisation de ces véhicules, les autres cycles SORT ne sont pas pertinents
- **Coût moyen de maintenance préventive**
 - 0,33 € /km > 80 000 € HT
- **Coût de possession total sur la durée de vie** : 495 690 € HT



■ Coût d'acquisition

■ Coût d'exploitation

■ Coût de maintenance

c. Coût de possession d'un minibus électrique avec location des batteries

Base de calcul : 35 000 kms par an sur 7 ans soit 245 000 km

■ Coût moyen d'acquisition (options comprises)

- 315 820 € HT
Dont 124 950 € de location de batterie et 17 000 € de station de charge

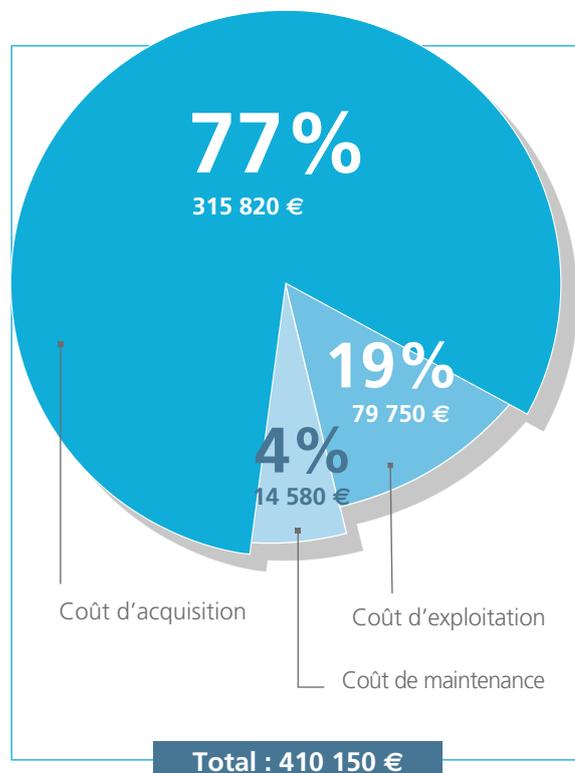
■ Coût moyen d'exploitation

- (base 0,07 €/kwh),
- SORT 1 : 0,85 kwh / km > 14 580 €
Compte tenu de l'utilisation de ces véhicules, les autres cycles SORT ne sont pas pertinents

■ Coût moyen de maintenance préventive

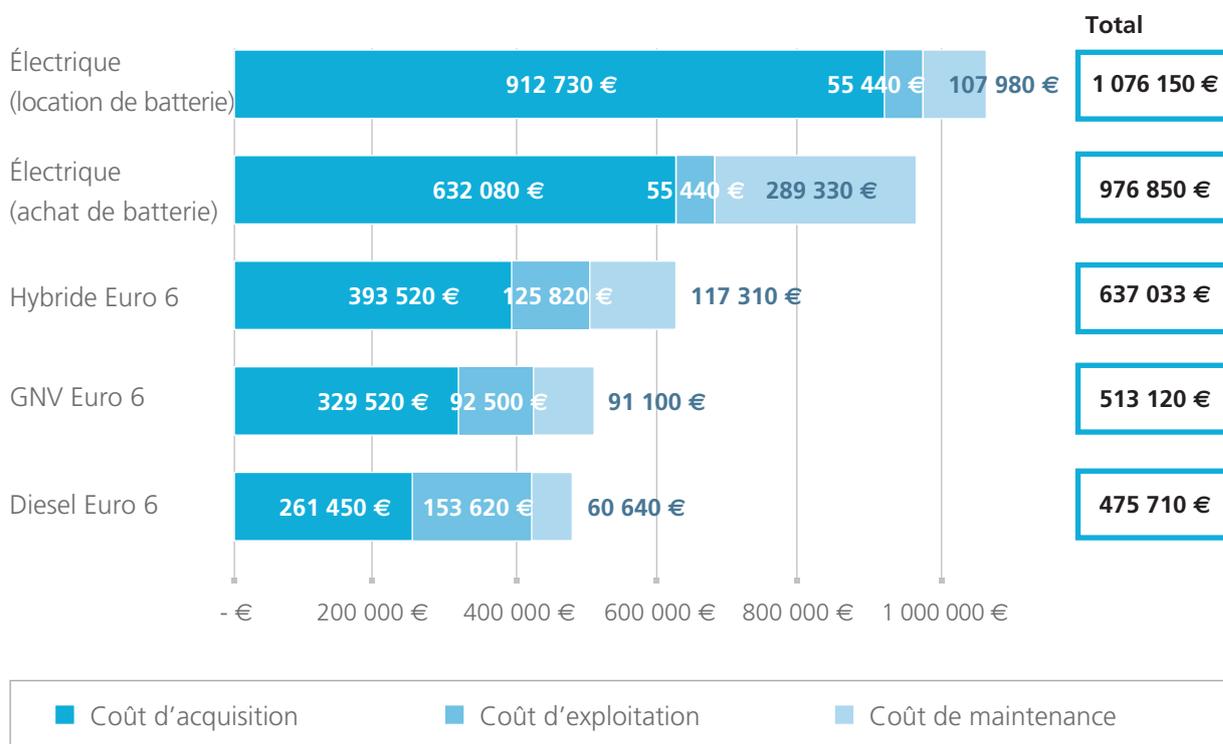
- 0,33 €/km > 79 750 € HT

■ Coût de possession total sur la durée de vie : 410 150 € HT



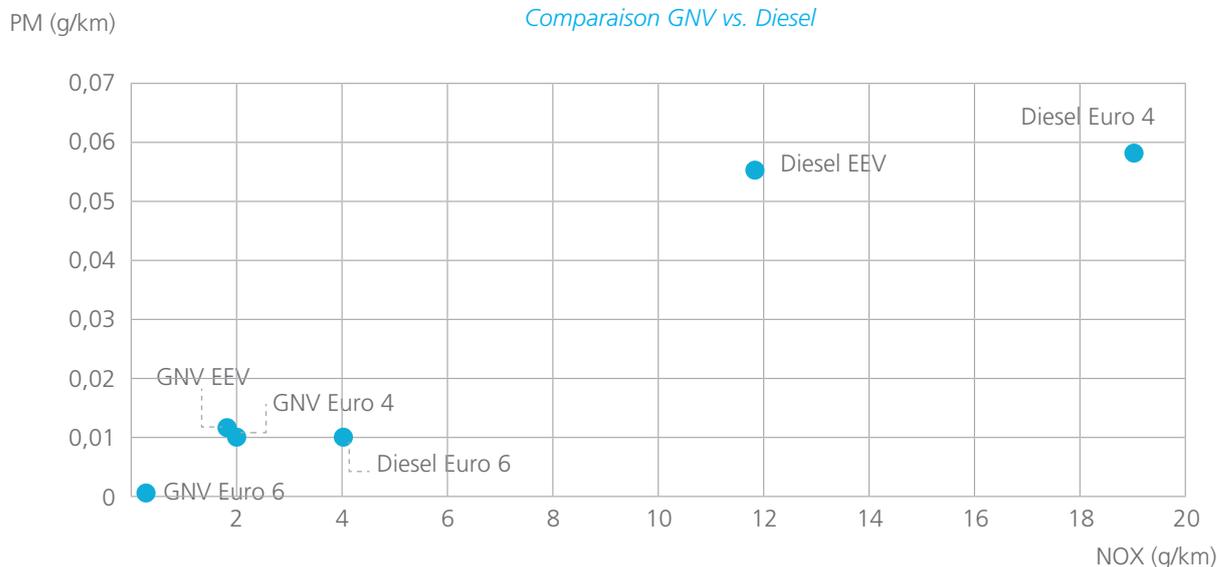
Sur une durée de 7 ans, les coûts d'un minibus électrique sont en moyenne, entre 105 et 147 % plus importants que ceux d'un minibus thermique

VI. SYNTHÈSE DES COÛTS



VII. FOCUS SUR LES ÉMISSIONS POLLUANTES

Emissions de NOx et PM pour les bus 12m sur cycle ADEME/RATP
Comparaison GNV vs. Diesel

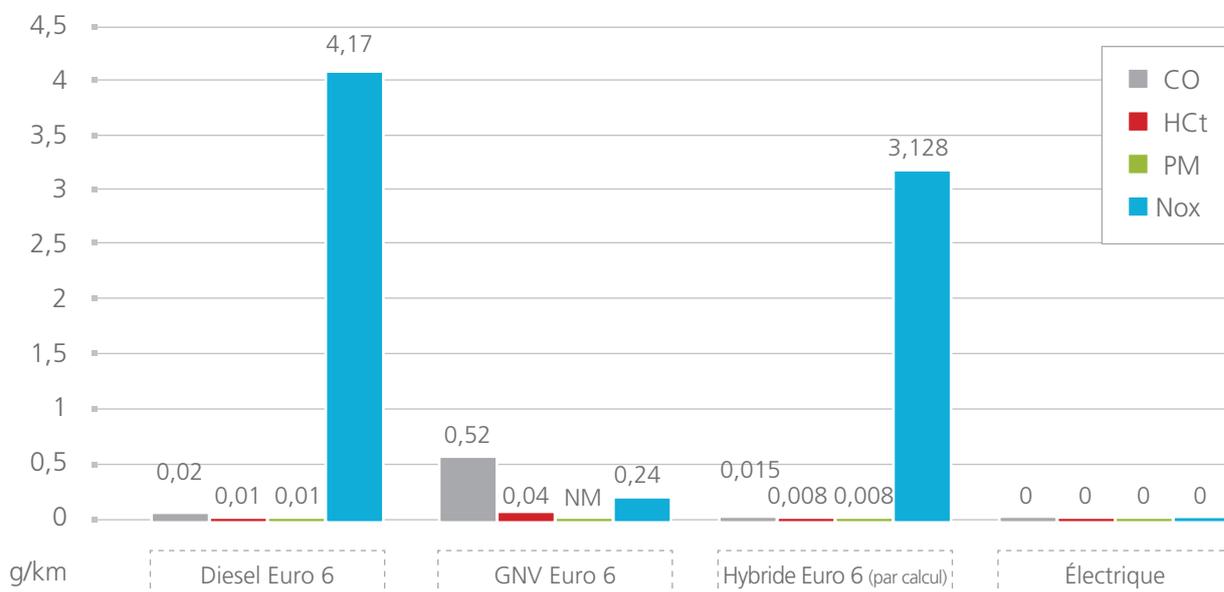


Ces résultats sont issus de tests réalisés par l'UTAC (Union Technique de l'Automobile du motorcycle et du Cycle – Organisme privé et indépendant, qui propose des services dans tous les domaines de la mobilité terrestre : réglementation et homologation, essais et expertise technique : environnement, sécurité, endurance-fiabilité, certification etc.)

Selon l'ADEME, à faible vitesse, les émissions de CO₂ des véhicules gaz sont supérieures à celles des véhicules diesel. Cette différence tend à disparaître lorsque la vitesse moyenne augmente.

A noter par ailleurs, comme le montre le graphique ci-dessus, que les émissions d'oxydes d'azote (NOx) et particules (PM) sont bien inférieures sur les véhicules gaz que sur les véhicules Diesel.

Facteurs d'émissions par filière sur cycle ADEME/RATP - Mesures réalisées sur banc à rouleau UTAC ou VTT



Le Centre de Recherche en Machines Thermiques (CRMT) et l'ADEME ont également effectué des relevés en exploitation dans le réseau de Vitalis-Poitiers, pour comparer 3 véhicules :

- Un Diesel thermique (Euro 5 EEV)
- Un Hybride (Euro 5 EEV)
- Un GNV (Euro 4)

Les résultats sont les suivants :

■ CO₂ :

- Réduction des émissions de 15 à 17% de l'hybride par rapport au diesel.
 - Les émissions du GNV sont supérieures de 4 à 10 % par rapport au diesel et 25 à 29 % par rapport à l'hybride.
-

■ CO :

- Les écarts entre hybride et diesel ne sont pas significatifs.
 - Le niveau du GNV correspond à un catalyseur vieilli.
-

■ NOx :

- Les NOx sont plus élevés sur l'hybride, avec une forte discrimination entre trajet aller (28 %) et retour (6 %). Le trajet retour se faisant complètement chaud, et avec une plus grande sollicitation moteur (dénivelée positif), le système SCR est plus efficace (stratégie injection d'urée).
-

■ HYDROCARBURES :

- Réduction de 50 à 70 % pour l'hybride par rapport au diesel.
 - Le niveau du GNV correspond à un catalyseur vieilli.
-

■ PARTICULES :

- Aucun rejet mesurable de la part du GNV.
-

VIII. LES NOUVELLES TECHNOLOGIES

a. L'Hybride - sans émission

■ PRINCIPE :

Un nouveau type de véhicule hybride est en cours de développement chez plusieurs constructeurs. Ces véhicules hybrides pourront basculer en full électrique dans les zones « cœurs de ville » pour une courte distance (4 à 5km). Cette alternative pourra permettre à ces véhicules d'être considéré comme « à faible émissions » dans le décret sur la loi de transition énergétique.

■ PROJET EN COURS :

Les premières sorties d'usines sont attendues pour fin 2017.

b. La recharge en bout de ligne

■ PRINCIPE :

Le principe de ce système consiste à recharger un véhicule 100% électrique ou hybride électrique en bout de ligne pour lui permettre une autonomie suffisante sur la ligne exploitée. Le véhicule se recharge donc rapidement (6 à 8min) à chaque terminus via un pantographe permettant des intensités électriques plus importantes. Plusieurs constructeurs se sont lancés dans l'expérimentation des véhicules hybrides et/ou électrique rechargeables en bout de ligne.

■ PROJET EN COURS :

Volvo travaille actuellement sur le projet 7900. Ce véhicule électrique hybride est en cours de développement en Suède. Les réseaux de Göteborg et Stockholm participent à l'expérimentation avec, respectivement, 3 et 8 véhicules en phase de tests. L'autonomie annoncée par le constructeur est d'une dizaine de kilomètres.



Volvo 7900

c. Le biberonnage : La recharge à chaque arrêt

■ PRINCIPE :

Le principe de ce système consiste à recharger un véhicule 100% électrique à chaque arrêt. L'autonomie du véhicule est donc illimitée. Le véhicule est équipé de supercapacités ce qui lui permet une recharge très courte (quelques dizaines de secondes) grâce à :

- Un bras articulé faisant partie du mobilier urbain
- Par induction au sol (enfouis sous la chaussée) ou sur le toit du véhicule

■ PROJETS EN COURS :

- PVI (WATT) : depuis 2015, une navette aéroportuaire est en exploitation entre les différents terminaux de l'aéroport de Nice. L'autobus de 12m se recharge via un bras articulé à chaque station.
- Solaris/Bombardier : la ville de Brunswick en Allemagne a mis en service commercial mi-2015 un véhicule qui se recharge par biberonnage lors de certains arrêts stratégiques le long du parcours. La charge se fait par induction haute puissance sous la chaussée.
- ABB : Le projet Tosa qui relie l'aéroport de Genève et Palexpo combine des recharges ultra rapides à certains arrêts (15 sec max) et une recharge plus importante en bout de ligne (4 min). La recharge est effectuée via un bras rétractable sur le toit du bus.
- Siemens : Ce bus articulé circulant en site propre fait le plein d'énergie à chaque station en une vingtaine de seconde grâce à un pantographe. Ce bus sera testé à Nîmes et Amiens dans les prochains mois.
- Bolloré : Bolloré développe le BlueTram. Ce véhicule est similaire à un BHNS électrique et se rechargera, grâce au déploiement d'un bras automatisé, à chaque station.
- Alstom : Alstom a dévoilé au salon UITP de Milan en 2015 son système de charge de batterie. Le bus récupère de l'énergie électrique via des rails sous le véhicule qui viennent en contacts sur des frotteurs placés sur la chaussée à chaque point d'arrêt.



Véhicule PVI WATT system de l'aéroport de Nice (à g.) et Bluetram de Bolloré (à d.)

d. Les véhicules PAC (Pile à combustible - Hydrogène)

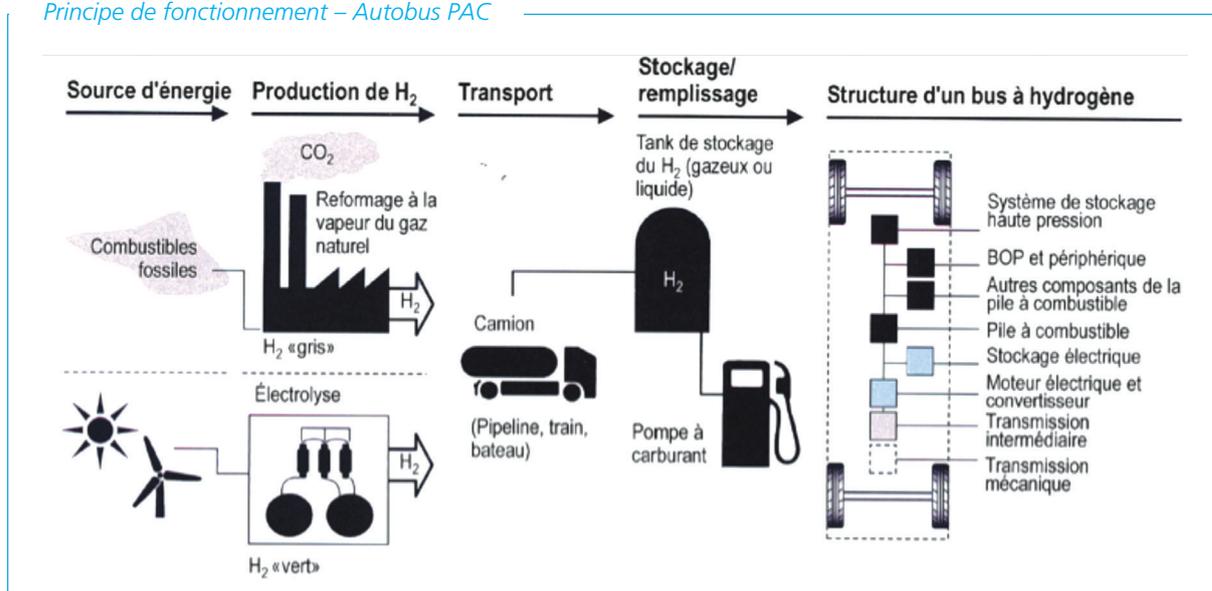
■ PRINCIPE :

Un autobus équipé d'une pile à combustible (PAC) est un autobus électrique dont l'énergie est produite directement à bord du véhicule. Du dihydrogène, sous forme gazeux, est contenu dans des réservoirs (bouteilles) dans le véhicule. L'énergie est créée en mélangeant ce dihydrogène avec le dioxygène présent dans l'air extérieur.

L'énergie est alors stockée dans une batterie Lithium-Ion ou alimente directement le moteur électrique du véhicule. Une autonomie de 400 km est annoncée par les constructeurs.

L'utilisation de la pile à combustible ne dégage que de la vapeur d'eau. C'est donc un mode de propulsion particulièrement écologique.

Principe de fonctionnement – Autobus PAC



■ PROJETS EN COURS :

- Plusieurs constructeurs tels que Mercedes, Van Hool, Solaris ou Wrightbus ont développé des véhicules à PAC et sont aujourd'hui en exploitation en Europe (Hambourg, Oslo, Londres etc.).

De nombreux programmes de démonstration sont actuellement en cours en Europe particulièrement au travers du projet CHIC (Clean Hydrogen In European Cities), soutenu par la Commission Européenne via le Fuel Cell Hydrogen Joint Undertaking, un partenariat public-privé rattaché au programme H2020. Ce projet fait état, en 2015, de 56 bus à hydrogène en cours de démonstration dans 9 villes européennes. Il est prévu d'atteindre 83 bus en exploitation d'ici 2016.



Citaro EvoBus PAC - Londres

SOURCES

- Consultations et marchés de véhicule de la CATP
- <http://www.transvéhicules.org/dossiers/gnv.html>
- ADEME : Panorama et évaluation des différentes filières d'bus urbains – août 2015
- Constructeurs : MAN, Irizar, Iveco, Heuliez, Mercedes, Solaris, Volvo
- <http://www.cnr.fr/Indices-Statistiques/Espace-Gazole/Indicateurs-Gazole-France/#haut>
- <http://www.cetim.fr>
- Parc au 1er janvier 2015 : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/transports/r/véhicules-cars.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=20558&cHash=6415f-5f5e7c7bccbd866233a011f5258
- <http://www.breezcar.com/actualites/article/bus-electrique-hydrogene-pile-a-combustible-France-0915>
- <http://www.transbus.org/dossiers/pac.html>
- Roland Berger – Une vision écologique du transport – la commercialisation des bus à hydrogène en Europe ; 15/10/2014

Avec plus de 150 collectivités qui lui font déjà confiance, l'expert de l'achat « transport public » poursuit son référencement avec de nouveaux véhicules et des systèmes et outils d'optimisation de l'exploitation, disponibles sans passer de procédure de marchés publics.

Devenue un partenaire incontournable des collectivités territoriales pour optimiser les achats et maîtriser les coûts, la CATP a accompagné l'achat de plus de 1 000 véhicules depuis sa création en 2011.

