

## 2017\_CT2\_586

### **OBJET : Aménagement du territoire - Déplacements, mobilité transports et infrastructures - Transition énergétique du parc de bus et cars de la Métropole - enjeux et perspectives pour le territoire métropolitain**

---

Le 7 décembre 2017, le Conseil de Territoire du Pays d'Aix, s'est réuni en session ordinaire à l'espace Aixagone à Saint-Cannat, sur la convocation qui lui a été adressée par Madame le Président du Territoire le 1<sup>er</sup> décembre 2017, conformément à l'article L.5211-1 du Code Général des Collectivités Territoriales.

**Etaient Présents** : JOISSAINS MASINI Maryse – AMEN Mireille – ARDHUIN Philippe – BALDO Edouard – BARRET Guy – BONTHOUX Odile – BORELLI Christian – BOUDON Jacques – BOUVET Jean-Pierre – BOULAN Michel – BOYER Raoul – BRAMOULLÉ Gérard – BUCCI Dominique – CALAFAT Roxane – CASTRONOVO Lucien-Alexandre – CESARI Martine – CHARRIN Philippe – CICCOLINI-JOUFFRET Noëlle – CORNO Jean-François – DAGORNE Robert – de SAINTDO Philippe – FABRE-AUBRESPY Hervé – FREGEAC Olivier – GALLESE Alexandre – GOUIRAND Daniel – GUINIERI Frédéric – HOUEIX Roger – JOISSAINS Sophie – LAFON Henri – LENFANT Gaëlle – LHEN Hélène – MANCEL Joël – MARTIN Régis – MEÏ Roger – MENFI Jeannot – MERCIER Arnaud – MERGER Reine – MONDOLONI Jean-Claude – MORBELLI Pascale – PAOLI Stéphane – PERRIN Jean-Marc – POLITANO Jean-Jacques – RAMOND Bernard – RENAUDIN Michel – ROLANDO Christian – SALOMON Monique – SICARD-DESNUELLE Marie-Pierre – TALASSINOS Luc – TAULAN Francis – TERME Françoise

**Etai(en)t excusé(es) avec pouvoir donné conformément aux dispositions de l'article L. 2121-20 du Code Général des Collectivités Territoriales** : ALBERT Guy donne pouvoir à FREGEAC Olivier – ALLIOTTE Sophie donne pouvoir à RENAUDIN Michel – AMAROUCHE Annie donne pouvoir à LAFON Henri – AMIEL Michel donne pouvoir à CALAFAT Roxane – AUGÉY Dominique donne pouvoir à SICARD-DESNUELLE Marie-Pierre – BACHI Abbassia donne pouvoir à JOISSAINS Sophie – BENKACI Moussa donne pouvoir à BOUDON Jacques – CHAZEAU Maurice donne pouvoir à BONTHOUX Odile – CRISTIANI Georges donne pouvoir à MARTIN Régis – de BUSSCHERE Charlotte donne pouvoir à CASTRONOVO Lucien-Alexandre – DELAVET Christian donne pouvoir à CESARI Martine – DEVESA Brigitte donne pouvoir à BOUVET Jean-Pierre – DI CARO Sylvaine donne pouvoir à GALLESE Alexandre – FILIPPI Claude donne pouvoir à JOISSAINS MASINI Maryse – GACHON Loïc donne pouvoir à MONDOLONI Jean-Claude – MALAUZAT Irène donne pouvoir à de SAINTDO Philippe – MALLIÉ Richard donne pouvoir à SALOMON Monique – MICHEL Marie-Claude donne pouvoir à MORBELLI Pascale – NERINI Nathalie donne pouvoir à MENFI Jeannot – PELLENC Roger donne pouvoir à DAGORNE Robert – PRIMO Yveline donne pouvoir à MEÏ Roger – ROUVIER Catherine donne pouvoir à BOYER Raoul – SERRUS Jean-Pierre donne pouvoir à CHARRIN Philippe – SLISSA Monique donne pouvoir à BUCCI Dominique – SUSINI Jules donne pouvoir à PAOLI Stéphane – TRAINAR Nadia donne pouvoir à FABRE-AUBRESPY Hervé – ZERKANI-RAYNAL Karima donne pouvoir à ROLANDO Christian

**Etai(en)t excusé(es) sans pouvoir** : BURLE Christian – CANAL Jean-Louis – CIOT Jean-David – FERAUD Jean-Claude – GARELLA Jean-Brice – GERARD Jacky – GOURNES Jean-Pascal – JOUVE Mireille – LEGIER Michel – PEREZ Fabien – PIZOT Roger – PROVITINA-JABET Valérie – YDE Marcel

**Secrétaire de séance** : Roxane CALAFAT

**Monsieur Guy BARRET** donne lecture du rapport ci-joint.

Accusé de réception en préfecture 013-200054807-20171207-2017_CT2_586- DE Date de télétransmission : 19/12/2017 Date de réception préfecture : 19/12/2017
---

**RAPPORT AU CONSEIL DE TERRITOIRE DU PAYS D'AIX**

**Aménagement du territoire  
Déplacements, mobilité, transports et infrastructures**

■ Séance du 7 décembre 2017

**03\_2\_01**

■ **Transition énergétique du parc de bus et cars de la Métropole - enjeux et perspectives pour le territoire métropolitain**

Madame le Président soumet pour information au Conseil de Territoire le rapport suivant :

## RAPPORT AU CONSEIL DE LA METROPOLE

### Transports, Déplacements et Accessibilité

#### ■ Séance du 14 Décembre 2017

2

#### TRA 002-14/12/17 CM

#### ■ Transition énergétique du parc de bus et cars de la Métropole - enjeux et perspectives pour le territoire métropolitain

Monsieur le Président de la Métropole Aix-Marseille-Provence sur proposition du Commissaire Rapporteur soumet au Conseil de la Métropole le rapport suivant :

Face à la mauvaise qualité chronique de l'air du territoire, l'Agenda de la Mobilité, adopté le 16 décembre 2016 par le Conseil de la Métropole, se fixe comme objectif ambitieux de sortir progressivement du diesel dans les transports en commun.

Cette démarche volontaire de la Métropole renforce les obligations légales de la loi de Transition énergétique pour la croissance verte, en les appliquant aussi aux flottes de cars de notre réseau de transports publics. Les lignes de bus et de cars express seront ainsi support d'exemplarité de la Métropole pour l'amélioration de la qualité de l'air et équipées en priorité par des véhicules non polluants et décarbonés.

Deux énergies sont déjà retenues pour le futur « mix énergétique de la Métropole » : l'électricité, en priorité pour les zones urbaines les plus denses, et le gaz GNV (Gaz Naturel pour Véhicule). Ces motorisations permettent une baisse des émissions de gaz polluants (quasi-disparition des particules fines, diminution des oxydes d'azote ou NOx..) et une amélioration du confort et du bruit, pour les passagers et les conducteurs, mais également pour les riverains et passants.

En parallèle, la Métropole sera attentive aux nouvelles énergies à faibles émissions qui apparaissent sur le marché et particulièrement le bio-carburant HVO (Huile Végétale Hydro-traitée) et l'hydrogène.

## I. Les enjeux

### A. La forte pollution chronique de l'air sur le territoire de la Métropole

Les enjeux liés à la qualité de l'air au niveau national et local sont sanitaires, économiques, et réglementaires. Selon « Santé Publique France », 48 000 décès prématurés par an étaient directement liés à la pollution atmosphérique en France en 2016 et le coût de la pollution atmosphérique est évalué entre 68 et 97 milliards d'euros selon le rapport du Sénateur Husson de 2015.

**Cette exposition chronique aux polluants présents dans l'air – l'ozone, les particules fines et l'oxyde d'azote principalement – est particulièrement importante pour les habitants de nos centres urbains et a des effets à long terme sur la santé des habitants de la Métropole Aix-Marseille-Provence estimés à sept mois d'espérance de vie en moins.**

Une part très importante des habitants du département est ainsi soumise en permanence à des niveaux de pollution chronique supérieurs aux seuils sanitaires recommandés par l'Organisation Mondiale de la Santé. Cela est particulièrement le cas pour les pollutions à l'ozone (100 % des habitants), aux particules en suspension (58 %) et dans une moindre mesure aux oxydes d'azote (4 %).

**Les habitants des centres urbains de notre territoire sont particulièrement exposés par cette pollution chronique avec 220 000 personnes exposées pour le centre urbain de Marseille, et 7000 personnes dans les quartiers sud-ouest d'Aix en Provence. Les bordures des autoroutes et grands axes de la Métropole sont aussi particulièrement affectés par la pollution.**

En plus de la pollution chronique, le territoire est également concerné par des pics de pollution qui se caractérisent par une augmentation temporaire et conséquente de la concentration de polluants dans l'air pour atteindre des seuils reconnus par les autorités sanitaires comme des limites à ne pas dépasser au risque de préjudices pour la santé humaine.

Les mesures d'urgence mis en place lors des pics de pollution sont gérées dans le cadre d'un dispositif préfectoral mis en place par les arrêtés préfectoraux du 20 et 21 juin 2017 pour la Région PACA et le Département des Bouches-du-Rhône.

### B. Une obligation d'achat ou renouvellement des flottes de bus et de cars par des véhicules à faibles émissions : 50% dès 2020 puis 100% en 2025

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (TECV) a pour ambition un changement de paradigme énergétique en France, tous secteurs confondus, et révisé pour cela les objectifs de la politique énergétique nationale. Il s'agit de favoriser l'émergence d'une économie compétitive et « verte », assurer la sécurité d'approvisionnement, maintenir un prix de l'énergie compétitif, préserver la santé humaine et l'environnement et lutter contre la précarité énergétique. L'Etat et les collectivités doivent notamment veiller à maîtriser la demande d'énergie, diversifier les sources d'énergie et réduire le recours aux énergies fossiles.

Les dispositions de la loi relatives au secteur des transports fixent un ensemble d'orientations qui visent à transformer ce secteur, et qui sont ensuite déclinées en mesures concrètes. Parmi celles-ci, figurent notamment la priorité donnée au développement des transports en commun à faibles émissions de gaz à effet de serre (GES) et de polluants atmosphériques.

Selon l'article 37 de la loi TECV (Art. L. 224-8 du code de l'environnement) :

« L'Etat, ses établissements publics, les collectivités territoriales et leurs groupements, le Syndicat des transports d'Ile-de-France et la métropole de Lyon, lorsqu'ils gèrent directement ou indirectement un parc de plus de vingt autobus et autocars pour assurer des services de transport public de personnes réguliers ou à la demande, acquièrent ou utilisent **lors du renouvellement du parc**, dans la proportion minimale de **50 % de ce renouvellement à partir du 1er janvier 2020 puis en totalité à partir du 1er janvier 2025, des autobus et des autocars à faibles émissions** définis en référence à des critères fixés par décret selon les usages desdits véhicules, les territoires dans lesquels ils circulent et les capacités locales d'approvisionnement en sources d'énergie. »

Le décret no 2017-23 du 11 janvier 2017 pris pour l'application de l'article L. 224-8 du code de l'environnement définit les critères caractérisant les autobus et autocars à faibles émissions prévus par l'article 37 de la loi TECV. Ce décret précise les critères à respecter par ces véhicules à faibles émissions selon les usages et les territoires dans lesquels ils circulent et définit deux groupes de véhicules :

- ✓ Groupe 1 : Véhicules dont la motorisation est électrique, y compris les véhicules alimentés par une pile à combustible à hydrogène, ou utilise un carburant gazeux si une fraction du gaz consommé est d'origine renouvelable.  
Cette fraction de gaz renouvelable est au minimum de 20 % à partir du 1er janvier 2020 et de 30 % à partir du 1er janvier 2025.
- ✓ Groupe 2 : Véhicules dont la motorisation est électrique-hybride, ou utilise un carburant gazeux ou les véhicules dont les moteurs sont conçus pour ne fonctionner qu'avec des carburants très majoritairement d'origine renouvelable.
- ✓ Et pour le reste les véhicules au moins norme euro 6.

Pour les véhicules non urbains et donc tous les autocars, les véhicules à faibles émissions sont à minima des véhicules de la norme euros 6.

Les flottes de bus urbains, circulant sur les territoires des communes se trouvant dans une agglomération de plus de 250 000 habitants au sens de la qualité de l'Air ont une obligation de renouvellement a minima parmi les véhicules des groupes 1 et 2.

**Selon l'arrêté du 28 juin 2016, pour la Métropole Aix-Marseille-Provence, la majorité des territoires de la Métropole Aix-Marseille-Provence à l'exception du Territoire du Pays Salonais ont donc une obligation de renouvellement parmi les véhicules des groupes 1 et 2.** (Voir la carte fournie en annexe 1).

De plus, d'ici le 1<sup>er</sup> janvier 2020, un arrêté préfectoral, établi après concertation des AOTU et en lien avec la qualité de l'Air, devra préciser les territoires du département pour lesquelles seuls les bus du groupe 1 seront considérés comme des véhicules à faibles émissions. Sur ces territoires, les autobus GNV devront consommer **un pourcentage obligatoire de méthane d'origine renouvelable**. Produit à partir de déchets issus de l'industrie agro-alimentaire, de la restauration collective, de déchets agricoles et ménagers, ou des résidus des stations d'épuration, le biométhane est un biogaz épuré qui respecte à 100% les propriétés du gaz naturel.

Aujourd'hui, ce biométhane est injecté directement dans l'infrastructure gazière en échange de certificat appelé « garantie d'origine » à un tarif d'injection réglementé préférentiel. **Ces « garanties d'origine » sont ensuite vendues aux clients des fournisseurs de gaz souhaitant consommer du méthane d'origine renouvelable. Cette contrainte impose donc pour l'instant un surcoût à l'achat du carburant GNV.**

Plusieurs projets de méthanisation sur le traitement des boues des stations d'épuration sont actuellement à l'étude par la Métropole. Le 13 juillet 2017, le Conseil Métropolitain a ainsi approuvé par la délibération DEA 003-2406/17/CM l'avenant n°4 au contrat de DSP de l'assainissement de zone centre, pour une valorisation en biométhane de l'usine de traitement des boues d'épuration de

Marseille. Cet avenant prévoit un contrat de vente selon le tarif réglementé avec une injection du biométhane et la création de garantie d'origine pour le fournisseur achetant le gaz.

Pour l'instant, la loi ne semble pas avoir prévu de système pour que la collectivité reste propriétaire des garanties d'origine et il semble peu approprié d'installer un dépôt à côté de la station d'épuration pour consommer directement le gaz.

Néanmoins, ce programme prévoit une production de 290 Nm<sup>3</sup>/h de méthane renouvelable dès 2019. Cette production correspondant à la consommation de 150 bus roulant au GNV est une première étape vers une autonomie énergétique du territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence.

### **C. les risques en cas de non-respect de ces obligations**

La loi sur la transition énergétique et la croissance verte ne prévoit pour l'instant pas de sanction en cas du non-respect de l'obligation concernant les achats ou le renouvellement du parc de bus et cars. Néanmoins, le territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence est concerné par deux procédures précontentieuses Européennes, qui visent la France, relatives au non-respect de la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

#### Un précontentieux relatif aux particules fines

De 2009 à 2011, la France a reçu plusieurs avertissements de la Commission européenne (mise en demeure, avis motivé, saisine de la Cour de justice de l'Union européenne) pour le non-respect des normes sanitaires de qualité de l'air fixées pour les PM<sub>10</sub>. En février 2013, la Commission européenne a adressé à la France une mise en demeure complémentaire et a élargi ses griefs contre elle. Il est reproché à la France de ne pas se conformer aux niveaux réglementaires de concentrations de particules dans l'air et de ne pas mettre en place des plans d'action répondant aux ambitions de la directive.

La France a reçu un avis motivé en avril 2015 pour 10 zones : Douai-Béthune-Valenciennes, Grenoble, Lyon, Marseille, la Martinique, Nice, Paris, Toulon, la zone urbaine régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur et la zone urbaine régionale de Rhône-Alpes.

#### Un précontentieux relatif aux oxydes d'azote

Par ailleurs, les normes sanitaires européennes de qualité de l'air concernant le NO<sub>2</sub> entrées en vigueur en 2010 sont dépassées chaque année dans plusieurs agglomérations.

La Commission européenne a envoyé le 15 février 2017 un avis motivé relatifs aux dépassements des normes sanitaires en matière de concentration du NO<sub>2</sub> et insuffisance des plans d'action en visant 13 zones et agglomérations : Paris, Lyon, Grenoble, Vallée de l'Arve, Saint-Etienne, Clermont-Ferrand, Marseille, Toulon, Nice, Strasbourg, Toulouse, Montpellier, Reims.

Dans ces deux précontentieux, il est reproché à la France de ne pas mettre en place des actions suffisantes pour restreindre la pollution. Depuis la France a prévu un dispositif pour déclencher des mesures contraignantes en cas de pic de pollution et des contraintes légales pour diminuer la pollution chronique en imposant notamment des obligations sur le renouvellement des véhicules des collectivités dont le parc des autobus et autocars des réseaux de transport public.

En cas de condamnation financière de la France, l'Etat pourrait se retourner contre les Métropoles n'ayant pas respecté leurs obligations légales.

## **II. L'état de l'art des véhicules à faibles émissions**

La Centrale d'Achat du Transport Public (CATP) a publié en septembre 2017 une 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 est d'accompagner les acheteurs publics dans des achats performants, au meilleur coût et notamment de faciliter leur arbitrage vers l'énergie la plus adaptée 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 1 500 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, etc.).

Cette étude a ainsi permis de dégager les tendances suivantes :

- ✓ Le GNV, offre un coût de possession proche du véhicule Diesel Euro 6 (surcoût de +3% ; +7% avec installation). Les installations fixes nécessaires à son usage, notamment dans les ateliers, constituent cependant un budget conséquent à prendre en compte. Le GNV présente un intérêt écologique réel, même si à faible vitesse, les émissions de CO et CO2 posent problème.
- ✓ Les nouveaux carburants substituables au diesel, tel que le HVO, permettent une alternative de transition qu'il convient de suivre avec attention.
- ✓ La filière électrique progresse rapidement à la fois d'un point de vue technique et au niveau de son industrialisation. Pour autant, les retours d'expérience restent limités et les coûts sont encore très élevés. Il faudra encore quelques années pour voir cette filière prometteuse être réellement opérationnelle à grande échelle.
- ✓ La pile à combustible (véhicule à hydrogène), qui connaît actuellement un regain d'intérêt, constitue une technologie complémentaire de la filière électrique avec une transformation en filière industrielle à vérifier.

L'étude complète est disponible en annexe 2 de cette délibération. Elle présente de façon détaillée, pour chaque type de carburant, les principes de base, les coûts d'acquisition, d'exploitation, des carburants ainsi que les polluants et les gaz à effets de serre émis.

### **III. L'objectif ambitieux d'une sortie progressive du diesel**

L'Agenda de la Mobilité Métropolitaine présente une gamme d'initiatives et d'investissements qui convergent vers un seul but : favoriser les déplacements en associant avec fluidité plusieurs modes. Toutes les actions de l'Agenda concourent à proposer une alternative crédible et, ainsi, diminuer la congestion et la pollution chronique.

La Métropole se fixe comme objectif de sortir progressivement du diesel dans les transports en commun conformément aux obligations légales et réglementaires tout en maîtrisant les coûts d'exploitation de ses réseaux.

Deux énergies sont déjà retenues: l'énergie électrique destinée en priorité pour les zones urbaines les plus denses, et le gaz GNV (Gaz Naturel pour Véhicule).

En parallèle, la Métropole sera attentive aux nouvelles énergies à faible émissions qui apparaissent sur le marché et particulièrement au bio-carburant HVO (Huile Végétale Hydro-traitée) et la pile à combustible (véhicule à hydrogène).

Cette transition énergétique est un défi majeur qu'entend relever la Métropole, pour le parc de véhicules, mais aussi pour les nombreux dépôts à équiper en stations de recharge gaz ou électrique.

L'aménagement de stations GNV publiques accolées aux dépôts de transports en commun pourrait contribuer au développement de cette énergie dans les flottes de véhicules spécifiques des collectivités (camion benne, bennes à ordures ménagères...), mais aussi pour l'activité logistique.

### A. Le parc de bus et de cars de la Métropole

La loi sur la transition énergétique fait référence au « renouvellement du parc » de l'EPCI et non à chaque renouvellement de véhicules composant ce parc, on peut donc considérer qu'il suffit d'additionner tous les renouvellements intervenus sur la période 2020-2025 pour vérifier le respect du seuil de 50%. La notion de parc permettra ainsi d'opérer une compensation entre les différents renouvellements, quel que soit le mode de gestion (régie, marché, DSP), sous réserve d'atteindre le seuil de 50% pour l'ensemble du parc de la Métropole à l'issue de la période de 5 ans.

Ce parc de cars et de bus des réseaux de transports publics métropolitains représente actuellement environ 2000 véhicules dont 900 véhicules sont des bus urbains soumis à une obligation contraignante de renouvellement.

#### Parc de bus et cars du réseau de la Métropole - Novembre 2016

Réseaux de transport public métropolitains	Nombre total de véhicules Urbains et non urbains	Dont Bus urbains
<b><u>Transmétropole</u></b>		
Réseau RTM Marseille, Allauch, Plan de Cuques, Septèmes	<b>612</b>	<b>609</b>
Réseau Ciotabus		
Réseau Bus des Cigales		
Réseau Bus de la Côte Bleue	<b>72</b>	<b>11</b>
Réseau Bus de la Marcouline		
Réseau Bus des Collines		
<b><u>Pays d'Aix</u></b>		
Réseau Aix en Bus (urbain)	<b>111</b>	<b>111</b>
Réseau Pays d'Aix Mobilité (interurbain)	<b>374</b>	
<b><u>Pays Salonais</u></b>		
Réseau Libébus	<b>47</b>	<b>23</b>
<b><u>Pays d'Aubagne et de l'Etoile</u></b>		
Réseau Lignes de l'Agglo	<b>76</b>	<b>32</b>
<b><u>Istres Ouest Provence/Pays de Martiques</u></b>		
Réseau Ulysse	<b>200</b>	<b>60</b>
<b><u>Est Etang de Berre</u></b>		
Réseau Bus de l'Etang	<b>111</b>	<b>54</b>
<b><u>Lignes départementales</u></b>		
Réseau Carteize de la RDT13	<b>393</b>	
<b><u>TOTAUX</u></b>	<b>1996</b>	<b>900</b>

Accusé de réception en préfecture  
013-200054807-20171207-2017\_CT2\_586-DE  
Date de télétransmission : 19/12/2017  
Date de réception préfecture : 19/12/2017

## B. Les expérimentations déjà menées par la Métropole

### 1. Les expérimentations électriques

- Trois mini-lignes électriques avec les diablins (Aix en bus)

A partir de 2003, la première mini-ligne électrique dans le cœur d'Aix-en-Provence a été assurée par une diablins. Il s'agit d'un mini-bus avec un plancher bas et un pavillon haut ne pouvant rouler qu'à faible vitesse. Ce véhicule peut transporter de 6 à 8 personnes et circuler dans les rues étroites et semi-piétonnes du centre-ville aixois.

Ce service comprend désormais trois circuits d'environ 3 km. 18 véhicules sont en service avec arrêt sur demande sur les trajets des circuits. 250 000 personnes sont transportées annuellement.

La Métropole étudie actuellement les possibilités d'extension du service autour de l'hypercentre. Pour cela, il serait nécessaire d'utiliser des véhicules pouvant atteindre une vitesse plus élevée qui leur permettraient de s'insérer dans la circulation. Des véhicules accessibles aux PMR sont recherchés.

- La ligne de bus 82 à Marseille (RTM)

Depuis juin 2016, la ligne 82, emblématique à Marseille qui dessert le Pharo, le Vieux-Port, le MuCEM et le nouveau quartier d'affaires Euroméditerranée - est équipée de 6 bus entièrement électriques.

Ces véhicules de 12 mètres sont équipés de batteries dans le toit, qui leur confèrent une autonomie de 12 à 16 heures pour 240 km d'autonomie en site urbain. Le temps de charge est de 5 à 7 heures, ce qui permet de les utiliser en exploitation en les rechargeant la nuit.

Six stations de charge de 100 kW branchées sur 2 transformateurs de 200 kVA ont été installées au dépôt d'Arenc pour permettre une recharge pendant la nuit. De plus un équilibreur de charge entre les six stations gère la cohérence des besoins en fonction de la puissance disponible.

L'exploitation de ces bus a permis d'identifier les spécificités d'exploitation et de charge des bus électriques. Les premiers résultats ont montré une disponibilité, une fiabilité et une autonomie satisfaisantes. Le niveau de charge restante constatée pendant la période estivale était en moyenne de l'ordre de 20% (surconsommation due à la climatisation) et de 35% en période normale. Les premiers résultats de consommation sont intéressants mais nécessitent d'être confirmés dans les prochains mois.

L'ensemble des acteurs (conducteurs, passagers, passants et voisins du dépôt) mettent en avant le silence de ces bus qui contribuent à la quiétude des déplacements urbains. De plus, 99% des passagers interrogés se déclarent satisfaits ou très satisfaits de ces bus électriques qui sont perçus comme plus agréables que les bus standards. Les conducteurs apprécient particulièrement le confort de la conduite de ces nouveaux bus et une relation à la clientèle différente due au « capital image » du véhicule.

Par ailleurs, deux autres modèles de bus électriques sont en test sur la ligne.

### 2. Les expérimentations GNV

Plusieurs expérimentations ont été réalisées avec différents constructeurs en condition réelles de circulation. L'objectif essentiel de ces tests était de vérifier les conditions d'exploitation des cars GNV sur leurs caractéristiques techniques (performances, autonomie), et de recueillir l'avis des voyageurs et des conducteurs.

- Expérimentation d'un autre autocar GNV sur le trajet Aix Marseille - janvier 2017

La RDT13 a mené une expérimentation en service commercial sur la liaison Aix-Marseille avec un car

GNV pendant quatre jours.

Cette expérimentation en service commercial a permis :

- ✓ De valider un parcours de 400 km/jour sans aucun problème d'autonomie.
  - ✓ De constater des gains de consommation de carburant avec une moyenne de 24kg de GNV au 100km contre 33 litres de diesel. A noter 1 litre de Gazole = 1 kg de GNV.
  - ✓ De constater une forte diminution sonore pour les voyageurs et les riverains.
  - ✓ De constater une diminution des bruits et vibrations permettant une conduite plus agréable pour le conducteur du car mais aussi un moteur manquant de puissance.
  - ✓ D'identifier l'importance d'utiliser une station d'avitaillement adaptée à ce type de véhicule.
- Expérimentation d'un autocar GNV (octobre - décembre 2017)

Un autocar GNV va être testé en service commercial sur deux lignes scolaires et trois lignes interurbaines (la 49 entre Aix en Provence et Marseille, la 72 entre La Ciotat et Aix en Provence, et la ligne 34 entre Martigues et Marseille) pendant deux mois fin 2017.

Il s'agit d'évaluer le véhicule dans plusieurs conditions de circulation et d'exploitation. Cinq opérateurs de la Métropole AMP participent à l'opération : RDT 13, Transdev, Kéolis, Burle et Trans Azur.

### **C. La mise en place d'un laboratoire de transition énergétique**

Au-delà des premières expérimentations réalisées, la Métropole se propose, en lien avec ses exploitants (au premier rang desquels la régie RTM et la régie RDT13), les constructeurs de matériels roulants et les entreprises spécialisées dans l'électricité et les nouvelles énergies, de mettre en place un véritable laboratoire pour la transition énergétique de ses réseaux de transport. Ce laboratoire de Transition Energétique devra permettre à la Métropole et aux différents industriels de mesurer, partager et analyser des données réelles d'exploitation permettant de fiabiliser des modèles énergétiques qui pourront ensuite être répliqués.

La Métropole et ses régies RTM et RDT13 échangent régulièrement avec les exploitants des autres grandes collectivités sur les expérimentations menées dans le cadre de la transition énergétique établissant ainsi un benchmark des solutions existantes. La RTM se tient particulièrement au courant des nouveaux projets et marchés de la RATP, qui envisagent aussi une transition rapide vers des bus 100% électriques.

Dans ce cadre, les premières opérations prévues sont :

1. exploiter le BHNS d'Aix avec des bus 100% électriques rechargés avec un dispositif de recharge rapide en terminus de la ligne et sur le dépôt.
2. réaliser une "brique élémentaire" de recharge des bus et cars électriques, permettant de tester différents modes de recharge sur le réseau de la RTM, avec des bus électriques ou multi-hybrides de différents constructeurs
3. construire dans le cadre d'une DSP, une station GNV à Vitrolles pour la flotte des Bus de l'Etang (délibération du Conseil de la Métropole du 19 octobre 2017)
4. Expérimenter un biocarburant sur car interurbain en ajustant en temps réel les réglages du moteur grâce à l'utilisation d'un capteur de nouvelle génération (RDT13)
5. Mener des expérimentations novatrices : route scolaire, station-service à hydrogène, navette autonome...
6. Réaliser un bilan de ces opérations et de celles menées dans d'autres agglomérations françaises et européennes grâce à la participation à des groupes de travail nationaux.

Toutes ces opérations font l'objet d'une démarche partenariales en matière de cofinancement avec l'Etat, la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le Département des Bouches-du-Rhône et ADEME. L'Etat a notamment retenu les expérimentations portées par la RTM et la RDT13 dans le cadre du récent pacte Etat-Métropole. Les étapes ont été intégrées à la candidature de la Métropole à l'appel à projet « Territoire d'Innovation de Grandes Ambitions », financées dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA3).

### 1 Exploitation du BHNS d'Aix avec des bus électrique et de la recharge rapide en terminus

Le Conseil de la Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix a approuvé par délibération n°2015\_A204 du 8 octobre 2015 le programme général du projet de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) entre Saint-Mitre des Champs et Krypton à Aix-en-Provence.

Cette ligne de 7.2km reliera plusieurs pôles d'échanges et parcs relais, desservira les grands quartiers d'habitat social d'Aix-en-Provence, le centre-ville et les facultés. Les travaux de réalisation débuteront en 2017 pour une mise en service prévue en septembre 2019.

Afin d'exploiter cette ligne au moyen d'une flotte de véhicules propres, réduisant les émissions polluantes et autres nuisances, tout en garantissant un niveau élevé de performance énergétique, le Conseil Métropolitain du 30 mars 2017 a approuvé par la délibération TRA 010-1798/17/CM le programme suivant :

- ✓ L'acquisition de 15 autobus 100% électrique de 12m.
- ✓ La mise en place d'un dispositif de recharge pour le remisage (dépôt du Pont de l'Arc de la régie RDT13).
- ✓ La mise en place d'un dispositif de recharge rapide dit d'opportunité sur les deux terminus de la ligne
- ✓ Des travaux d'intégration sur le Centre de Maintenance.

Ces acquisitions et travaux ont été confiés à la Régie RDT13 par approbation de l'avenant n°2 au contrat d'obligation de service public de la RDT13 avec la Métropole lors du Conseil Métropolitain du 19 octobre 2017 par délibération TRA 010-19/10/17.

Ce programme permettra de tester l'exploitation de bus éclectiques avec une recharge en terminus et de comparer ainsi les coûts, avantages et contraintes de cette solution avec les dispositifs de charge de la RTM.

Le kilométrage annuel de cette ligne devrait être d'environ 700 000 km.

Le budget prévisionnel de cet investissement est de 15 millions d'euros HT.

## 2. Réalisation d'une brique élémentaire de recharge électrique par la régie RTM

Dans la continuité de la première ligne de bus électrique mis en service à Marseille, la Métropole Aix-Marseille-Provence envisage le basculement en électrique des flottes de bus de son territoire dans les zones très urbaines et particulièrement de la flotte du réseau Marseillais de la RTM. Néanmoins, la Métropole et la RTM souhaitent garder la possibilité de mettre en concurrence plusieurs fournisseurs en évitant les systèmes « propriétaire ».

En effet, le renouvellement partiel et continu du parc de la RTM suppose que les différentes solutions qui seront successivement retenues soient interopérables. Enfin, le système global (véhicules et dispositifs de rechargement) devra être évolutif pour bénéficier des avancées technologiques au fil du temps.

Dans cette optique, la RTM a proposé à la Métropole de tester et mettre au point une brique élémentaire de recharge électrique qui deviendra l'élément à dupliquer pour électrifier l'ensemble de la flotte par étapes en rajoutant des briques au fur et à mesure des besoins.

Cette première brique comprendra les éléments suivants :

- ✓ **L'acquisition de 15 autobus 100% électrique** auprès de 3 à 5 constructeurs différents. Ces véhicules seront exploités principalement sur une même ligne sur le périmètre RTM.
- ✓ La conception et la réalisation d'une **infrastructure de recharge dans un dépôt** de la RTM. Cette infrastructure se composera d'une sous-station électrique d'environ 2 Méga Watt, de son TGBT, d'une vingtaine de stations de charge. Elle doit permettre la recharge des véhicules des différents constructeurs avec système de bascule et de gestion des modes dégradés, l'analyse comparée de différents systèmes de branchement des véhicules (pantographe, prise sol, prise aérienne), une modélisation à l'échelle d'un dépôt, ainsi que l'étude de faisabilité et d'opportunité d'un raccordement de ces installations au réseau de distribution électrique du
- ✓ La conception et le déploiement des **systèmes de supervision** et d'administration du réseau de distribution électrique du dépôt, des stations de charge et de la performance des opérations de recharge des véhicules ainsi que des modes dégradés

La mise au point de cette brique permettra d'identifier :

- ✓ les conditions permettant de garantir l'interopérabilité des différents matériels roulant.
- ✓ le modèle d'exploitation correspondant aux besoins de réseaux de transport urbain (dimensionnement des packs batteries et répartition des points de rechargement complémentaires si besoin) et les limites des différentes technologies.
- ✓ les spécifications de conception de l'infrastructure électrique permettant de garantir l'interopérabilité du système.
- ✓ l'architecture de la distribution électrique pour garantir le meilleur taux de disponibilité du système et la supervision des modes dégradés et des performances.

- ✓ les conditions permettant de garantir l'optimisation des temps de recharge et la supervision nécessaire.
- ✓ les gains potentiels par la connexion au réseau métro et l'utilisation de la récupération de l'énergie de freinage pour recharger les batteries.
- ✓ les gains potentiels issus de la revente de l'énergie stockée aux heures de pointe au réseau électrique Enedis.

De plus, parmi les nouveaux véhicules électriques qui seront intégrés à cette brique élémentaire, la RTM testera aussi un bus multi-hybride de 12m associant motorisation hydraulique, thermique et électrique dans des conditions d'exploitation. Le véhicule combine ainsi un moteur diesel de 3 cylindres de 60 KW à moteur hydraulique de 110 cm<sup>3</sup> et à deux moteurs électriques de 103KW. Au cumul, le groupe motopropulseur est capable de délivrer jusqu'à 280 chevaux de puissance.

En fonctionnement, le bus maximisera l'utilisation du mode électrique, assisté par la motorisation hydraulique selon les besoins. De faible cylindrée, le moteur thermique agit quant à lui comme un prolongateur d'autonomie.

Avec cette expérimentation, la RTM pourra étudier les facteurs externes (température extérieure, charge du véhicule, dénivelé, comportement de conduite, ...) impactant l'autonomie des bus électriques en condition commerciale sans risque de panne grâce à la motorisation thermique qui pourra prendre le relais.

Le coût prévisionnel de cette opération est d'environ 12 millions d'euros HT sur deux ans et relève des investissements propres de la RTM.

L'objectif principal de cette opération est d'identifier les conditions d'exécution qui permettront à la Métropole de garantir la pérennité des solutions que la RTM pourrait être amenée à déployer pour électrification de l'ensemble de ses bus urbains.

### 3. Construction d'une station GNV pour la flotte des Bus de l'Etang

Dans le cadre de la construction du dépôt des Bus de l'Etang à l'Anjoly sur Vitrolles, une délibération a été prise en Conseil Métropolitain du 19 octobre 2017 pour permettre la construction et l'exploitation d'une station d'avitaillement GNV accolée au futur dépôt. Une procédure d'appel d'offre va être engagée fin 2017 par la Métropole pour aboutir à une convention de délégation de service public pour la construction, la maintenance et l'exploitation de la station d'avitaillement GNV de l'Anjoly.

**Cette station aura deux vocations : avitailler en charge lente les besoins du futur dépôt des Bus de l'Etang et fonctionner comme une station publique en charge rapide.** Elle permettra ainsi d'avitaillement d'autres véhicules de la Métropole comme les autres bus du réseau des Bus de l'Etang ainsi que les autocars des futures lignes express métropolitaines. Elle contribuera aussi à encourager les autres transporteurs et les entreprises logistiques à faire évoluer leurs flottes vers une motorisation plus propre.

La station devrait être mise en service avant fin 2020 et permettre ainsi, à l'échéance de la DSP d'exploitation et de la gestion du service public de transport urbain des Bus de l'Etang, de renouveler progressivement en GNV les 120 autobus du réseau.

La construction de la station sera réalisée sur un terrain mis à la disposition du délégataire de la DSP. Ce terrain classé au domaine public communal fera l'objet d'un transfert à la Métropole le 1er janvier 2018, au titre du transfert de la compétence des Zones d'activités.

### 4. Expérimentation d'un nouveau biocarburant par la régie RDT13

Commercialisés depuis 2012 dans les pays du Nord de l'Europe et en Californie, le marché des biocarburants se développe pour l'instant sur des flottes captives des municipalités ou des services de l'Etat. Le facteur limitant provient du fait que le véhicule ne peut fonctionner que sur un mode unique prédéfini et non adaptable, ce qui est très pénalisant et nécessite l'usage de stations-service dédiées avec pompes privées « biocarburant ». La généralisation de l'usage des biocarburants au-delà des flottes captives passent nécessairement par la reconnaissance automatique du type de biocarburant et de la teneur en biocarburant (entre 0% et 100%). Une société locale (SP3H) a développé la brique manquante, « la fuelbox », permettant de finaliser l'automatisation et la gestion autonome du processus par les véhicules et les rendre ainsi intelligents et auto-adaptables.

Dans le cadre d'un partenariat avec SP3H, la RDT13 va tester l'intégratif de la fuelbox sur un car de la RDT13. Une première phase est prévue fin 2017. En accord avec le constructeur, la RDT13 va mettre à disposition un de ces cars pour tester l'intégration du module SP3H avec l'ajustement en temps réel des réglages du moteur en utilisant le diesel comme carburant. L'autocar circulera à vide mais en situation réelle et sera équipé de capteurs permettant de mesurer les émissions réelles de polluants. Cette 1ere phase doit permettre de valider l'intégration du capteur et de l'autocar.

En fonction des résultats de la première phase et des homologations nécessaires, une deuxième phase prévoit une expérimentation avec le capteur de SP3H et du biodiesel de type HVO (Huile Végétale Hydrotraîtée) qui sera produit en 2018 à la nouvelle bio raffinerie de la Mède de TOTAL à partir d'huiles végétales, d'huiles alimentaires usagées et d'huiles résiduelles. Il s'agira de combiner l'effet d'un nouveau carburant « bio » conforme aux Directives RED et FQD en matière de carburant renouvelable, avec l'ajustement en temps réel des réglages du moteur.

Par la suite une expérimentation sur une ligne commerciale pourrait être envisagée.

Les objectifs de ce processus d'expérimentations vise à :

- ✓ Démontrer qu'il est possible d'atteindre une réduction de 10% de la consommation réelle de carburant et donc de l'émission de CO<sub>2</sub>.
- ✓ Démontrer qu'il est possible d'atteindre une réduction des émissions polluantes de 40% pour les particules et jusqu'à 20% pour les NOx.
- ✓ Disposer de l'ensemble des éléments de prix de rétrofit des véhicules incluant le prix du capteur, de la connectique et de la télémétrie et des services associés.
- ✓ Calculer le retour sur investissements et démontrer la viabilité économique de la solution.
- ✓ Identifier les conditions d'exploitation pour un déploiement de cette solution.

#### 5. Proposition d'expérimentations novatrices au titre du PIA3 - Programme d'Investissement d'Avenir 3 (Territoire d'Innovation de Grande Ambition)

Plusieurs autres projets très innovants ont aussi été proposés au titre du PIA3 par la Métropole Aix-Marseille-Provence et ses exploitants. Ces projets nécessitent encore d'être approfondis et toutes les technologies ne sont pas encore mûres. Des études d'ingénierie en première phase permettront de préciser les conditions de réalisation et les coûts. Des études de simulation, de consommations énergétiques et des études juridiques devront aussi être réalisées avant la mise en œuvre des projets suivants :

- Navette modulaire à énergie propre autonome : projet de navette autonome et modulaire à énergie propre, adaptable à une variété d'usages typiques d'un territoire à vocation mixte (zone d'activité, résidentielle et commerciale). Elle reliera dans un premier temps la gare Aix TGV avec le secteur du Petit Arbois. A terme elle desservira plus largement le Pôle d'Aix-en-Provence (zone mixte avec plus de 26000 employés sur le site)

- Route à énergie positive : expérimentation d'une voie de bus électrique sur le tronçon terminal de l'autoroute A7 en entrée de Marseille avec recharge des véhicules en mouvement par de l'électricité produite sur la route elle-même (revêtement photovoltaïque). La combinaison des deux fonctions n'a jamais été testée sur la même infrastructure.
- Projet pilote de station-service à hydrogène avec un vecteur d'hydrogène liquide facile à stocker et à transporter à la gare TGV d'Aix en Provence. Ce projet pilote, extrêmement innovant, s'inscrit dans un second temps de l'action à 10 ans. L'objectif étant de développer une station-service pour la recharge de tous les véhicules alimentés en hydrogène (bus, voiture, bateaux).

#### **D. Présentation d'un bilan d'étape aux élus**

L'ensemble des programmes et des expérimentations réalisés dans le cadre du laboratoire permettra à la Métropole de préparer la transition énergétique de son parc de bus et de cars. Les retours d'exploitation avec des véhicules de différentes motorisations fourniront les éléments nécessaires pour finaliser les choix technologiques à l'horizon 2020.

Une présentation du bilan de ces opérations sera organisée auprès des élus pour rendre compte de ces retours d'expériences. Un ou plusieurs scénarios de transition seront proposés en fonction des coûts réels d'investissement, de maintenance et d'exploitation des différentes solutions. Les élus pourront ainsi statuer sur la transition énergétique des différentes flottes de bus et de cars du réseau de transport en commun de la Métropole.

Les mesures mises en place devront permettre de garantir pendant la phase de transition de 2020 à 2025 le respect des contraintes légales imposées par l'Etat.

Telles sont les raisons qui nous incitent à proposer au Conseil de la Métropole de prendre la délibération ci-après :

#### **Le Conseil de la Métropole Aix-Marseille-Provence,**

##### **Vu**

- Le Code Général des Collectivités Territoriales ;
- La directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe
- Le Code de l'Environnement ;
- La loi n°2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles ;
- La loi n°2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République ;
- Le Code Général des Collectivités Territoriales ;
- La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte – article L224-8 ;
- Le décret n° 2017-23 du 11 janvier 2017 pris pour l'application de l'article L. 224-8 du code de l'environnement définissant les critères caractérisant les autobus et autocars à faibles émissions ;
- Arrêté du 28 juin 2016 établissant les listes d'agglomérations de plus de 100 000 et 250 000 habitants conformément à l'article R. 221-2 du Code de l'Environnement ;
- Arrêté préfectoral du 20 juin 2017 portant organisation du dispositif d'urgence en cas d'épisode de pollution de l'air ambiant sur les départements des Régions Occitanie et Provence-Alpes-Côte-D'azur ;

- Arrêté préfectoral du 21 juin 2017 portant organisation du dispositif d'urgence en cas d'épisode de pollution de l'air ambiant sur le département des Bouches-du-Rhône ;
- La délibération du Conseil de Métropole n°16/2355/CM du 15 décembre 2016 portant approbation de l'Agenda de la mobilité métropolitaine ;
- La délibération du Conseil Métropolitain TRA 010-1798/17/CM du 30 mars 2017 portant approbation du programme d'investissement de 15 bus électriques pour le projet de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) d'Aix-en-Provence ;
- La délibération du Conseil Métropolitain DEA 003-2406/17/CM du 13 juillet 2017 portant approbation de l'avenant n°4 au contrat de délégation du service de l'assainissement collectif de la zone Centre relatif au projet de valorisation du biogaz produit à l'usine des boues de Marseille ;
- La délibération du Conseil de Métropole Aix-Marseille-Provence du 19 octobre 2017 portant approbation de l'avenant n°2 au contrat d'obligation de service public de la RDT13 avec la Métropole ;
- La délibération du Conseil de Métropole Aix-Marseille-Provence du 19 octobre 2017 concernant la construction et l'exploitation d'une station d'avitaillement GNV à l'Anjoly (Vitrolles) pour les besoins du dépôt des Bus de l'Etang et ouverte aux professionnels du transport.

**Oùï le rapport ci-dessus,**

**Entendues les conclusions du Commissaire Rapporteur,**

**Délibère**

**Article unique**

Il est pris acte des enjeux et des perspectives de la transition énergétique du parc de bus et de cars du réseau de transport en commun de la Métropole Aix-Marseille-Provence.

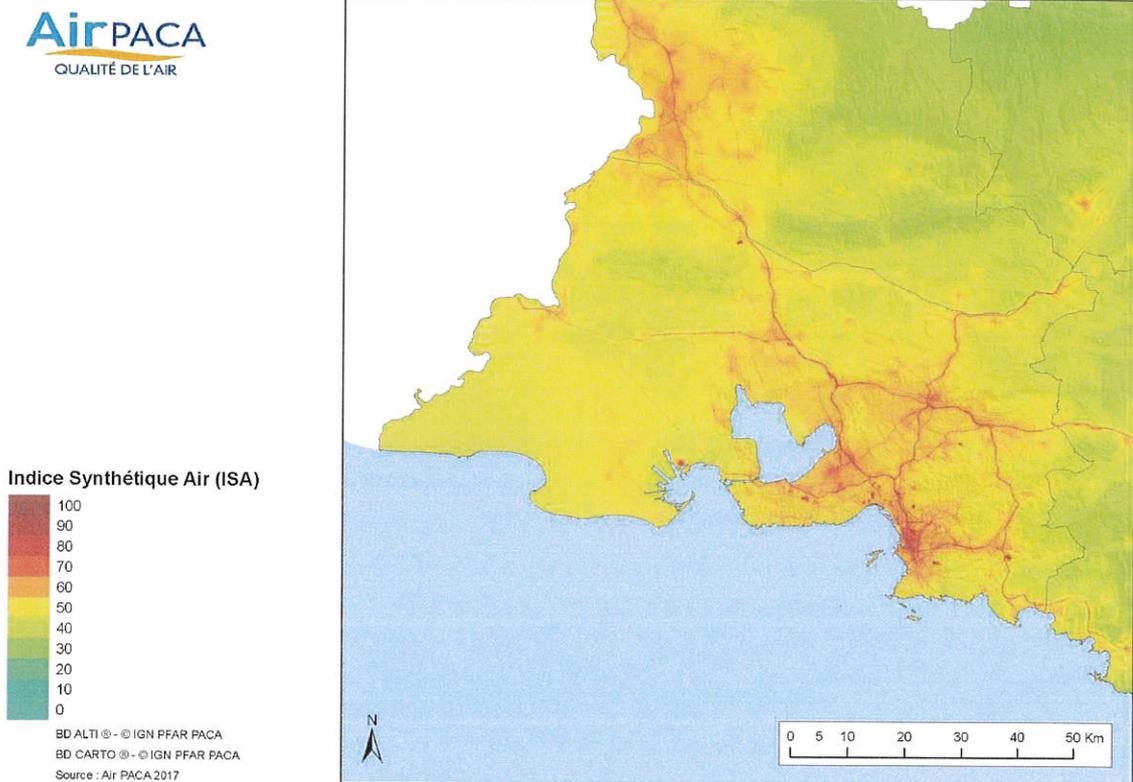
Pour enrôlement,  
Le Vice-Président Délégué  
Mobilité, Déplacements et Transports

Jean-Pierre SERRUS

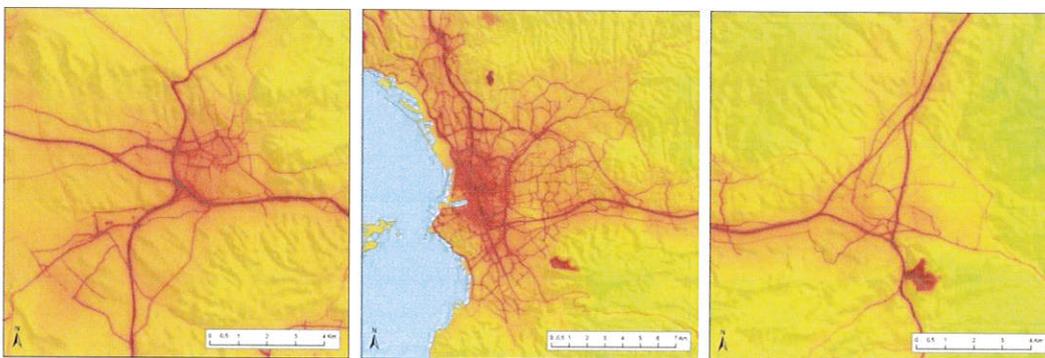
# Métropole Aix-Marseille-Provence

## Annexe 3 : La forte pollution chronique de l'air sur le territoire de la Métropole

L'Indice Synthétique Air (ISA) cumule les concentrations de particules fines PM10, dioxyde d'azote et ozone sur une année et permet de caractériser les zones les plus impactées par la pollution chronique.



Cartographie : exposition des populations à la pollution chronique dans les Bouches-du-Rhône (source : Air PACA 2017 – données 2015)



Cartographie : exposition des populations à la pollution chronique : zoom sur Aix, Marseille et Aubagne (source : Air PACA 2017 – données 2015)

Accusé de réception en préfecture  
013-200054807-20171207-2017\_CT2\_586-  
DE  
Date de télétransmission : 19/12/2017  
Date de réception préfecture : 19/12/2017



# **Etude comparative sur les différentes motorisations de bus**

2017



## Sommaire

<b>I.</b>	<b>Motorisation Diesel thermique</b> .....	<b>4</b>
a.	Technologie.....	4
b.	Coût de possession d'un véhicule 12 mètres Euro 6 thermique .....	6
<b>II.</b>	<b>Motorisation Gaz Naturel pour Véhicules</b> .....	<b>7</b>
a.	Principe de base.....	7
b.	S'équiper en véhicules au Gaz .....	8
c.	Les flottes gaz.....	8
d.	Infrastructure de charge .....	9
e.	Coût de possession d'un véhicule 12 mètres GNV hors infrastructure.....	9
<b>III.</b>	<b>Motorisation Hybride</b> .....	<b>10</b>
a.	Principe de base .....	10
b.	Coût de possession d'un véhicule 12 mètres hybride.....	11
<b>IV.</b>	<b>Nouveaux carburants</b> .....	<b>12</b>
a.	Principe de base .....	12
b.	Coût de possession d'un véhicule 12 mètres éthanol.....	13
<b>V.</b>	<b>Synthèse des coûts</b> .....	<b>14</b>
<b>VI.</b>	<b>Focus sur les émissions polluantes</b> .....	<b>15</b>
<b>VII.</b>	<b>Motorisation Electrique</b> .....	<b>16</b>
a.	Principe de base.....	16
b.	La recharge en bout de ligne par pantographe.....	17
c.	Le biberonnage : la recharge à chaque arrêt .....	18
d.	La recharge par induction : le système sans contact .....	19
e.	L'Hybride – sans émission.....	21
f.	Les véhicules PAC (Pile à combustible – Hydrogène).....	21
<b>VIII.</b>	<b>Analyse économique de différents scénarios liés au véhicule électrique</b> .....	<b>22</b>
a.	Achat ou location des batteries et recharge au dépôt (coût infrastructure inclus).....	22
b.	Achat ou location des batteries et recharge au dépôt (hors infrastructure).....	23
c.	Achat ou location des batteries et recharge par opportunité (avec infrastructure) .....	24
d.	Achat ou location des batteries et recharge par opportunité (hors infrastructure).....	25
<b>IX.</b>	<b>Synthèse globale :</b> .....	<b>29</b>
	<b>Sources</b> .....	<b>31</b>

## Préambule

Après une première parution en 2014, la Centrale d'Achat du Transport Public (CATP) a mis à jour l'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 adaptée 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 1 500 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, etc.)

Les principales motorisations des véhicules y sont étudiées – Diesel thermique EURO 6, GNV, hybride, éthanol et électrique – sur trois 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 issues des constructeurs

Les données de base pour l'étude comparative sont les suivantes :

- Bus standard 12 m
- Durée de vie : 15 ans pour les véhicules Diesel Euro6, GNV, Hybrides et fonctionnant aux nouvelles énergies conformément à l'amortissement économique et technique courant des véhicules et 20 ans pour l'électrique car la durée de vie du matériel estimée est supérieure
- 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.

Créée 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.

La CATP considère, néanmoins, que les coûts plus 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 deux phénomènes seraient contraires aux objectifs de développement d'une mobilité plus durable et de report modal de la voiture vers les transports publics.

## I. Motorisation Diesel thermique

### a. Technologie

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 1<sup>er</sup> Janvier 2014, est la norme Euro 6. Elle impose des seuils maximums 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.

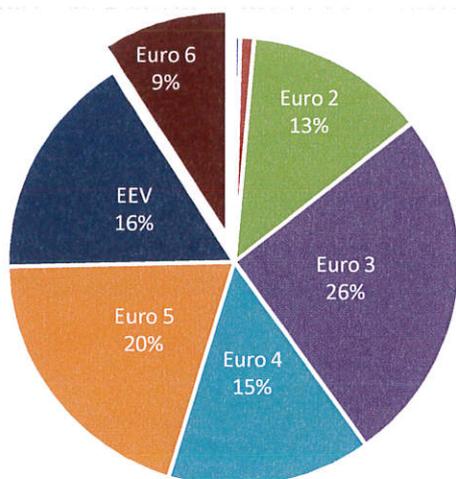
g/kWh	<b>Euro 0</b> (1.10. 1990)	<b>Euro 1</b> (1.10. 1993)	<b>Euro 2</b> (1.10. 1996)	<b>Euro 3</b> (1.10. 2001)	<b>Euro 4</b> (1.10. 2006)	<b>Euro 5</b> (1.10. 2009)	<b>EEV</b>	<b>Euro 6</b> (1.01. 2014)
<b>NOx</b> Oxydes d'azote	14,4	9	7	5	3,5	2	2	0,4
<b>CO</b> Monoxyde de carbone	11,2	4,9	4	2,1	1,5	1,5	1,5	1,5
<b>HC</b> Hydrocarbures	2,4	1,23	1,1	0,66	0,46	0,46	0,25	0,13
<b>PM</b> Particules	Non mesuré	0,36	0,15	0,13	0,02	0,02	0,02	0,01

Fig : Evolution de la norme Euro

Au 1<sup>er</sup> janvier 2016, le parc bus français (hors RATP) se décomposait de la façon suivante :

	<b>Euro 0</b>	<b>Euro 1</b>	<b>Euro 2</b>	<b>Euro 3</b>	<b>Euro 4</b>	<b>Euro 5</b>	<b>EEV</b>	<b>Euro 6</b>
<b>Quantités</b>	50	119	1587	3137	1785	2434	1986	1106
<b>%</b>	0,4%	1,0%	13,1%	25,8%	14,7%	20,0%	16,3%	9,1%

Fig : Répartition du parc en service selon la norme Euro du véhicule



On remarque que les véhicules €4 ou antérieurs représentent encore plus de la moitié du parc à fin 2015. Il n'y a que 9% du parc en Euro 6.

### Comparaison des valeurs limites d'émissions (Norme €0 à €6)

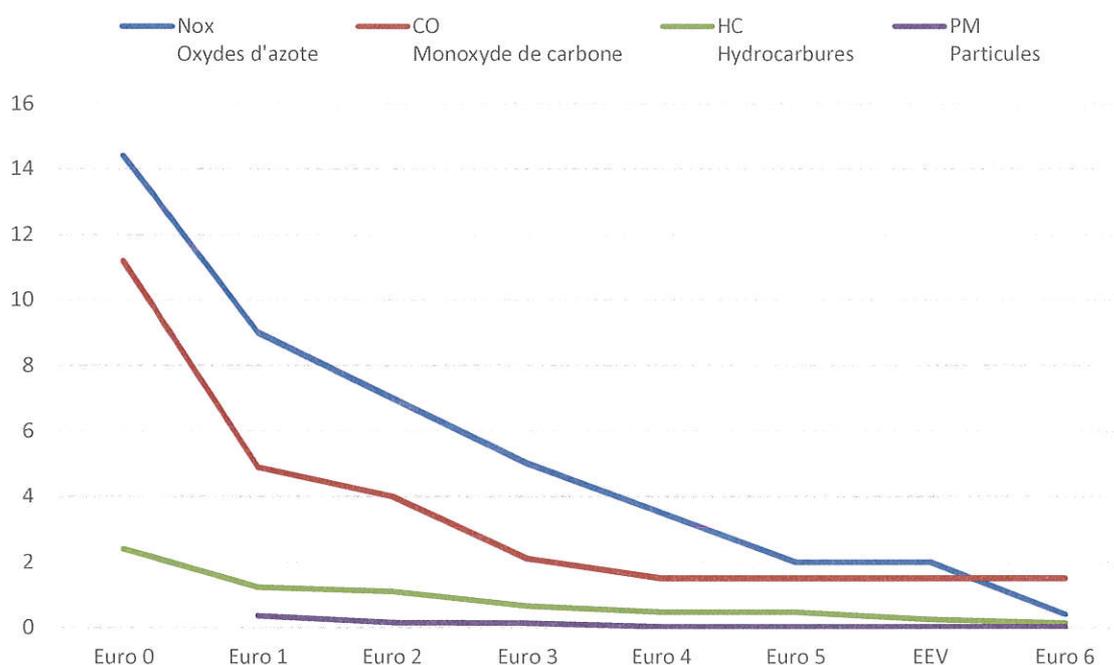


Fig : Comparaison des valeurs limite d'émissions (Normes €0 à €6)

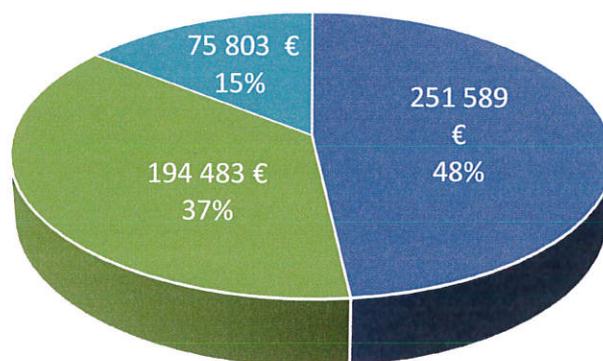
En plus des améliorations liées à la réduction des émissions de NOx de 55 % et hydrocarbures de 25 % entre l'Euro 5 et l'Euro 6, la norme Euro 6 a permis aux constructeurs de développer des moteurs qui consomment moins de carburant. Une diminution de consommation de 5 % par rapport à l'Euro 5 était annoncée 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 effective 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) 251 589 € HT

- **Coût énergétique** : 194 483 €  
Consommation moyenne 35,2 L / 100km, basé sur cycle SORT 2
  
- **Coût moyen de maintenance préventive**
  - 0,13 €/km ⇨ 75 803 € HT
  
- **Coût de possession total sur la durée de vie** (base SORT 2) : 521 87 € HT

Coût de possession sur 15 ans d'un véhicule thermique 12m €6 : 521 875 €



- Coût d'acquisition
- Coût énergétique
- Coût moyen de maintenance préventive

A noter que 37% du prix de possession sur les 15 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.

Le gaz utilisé pour les transports publics peut être soit du gaz « naturel », composé de méthane à 93 %, soit du biogaz issu de la valorisation de déchets (fermentation de déchets ménagers, de boues d'épuration, etc.).

Le gaz est ensuite comprimé à 200-220 bars et stocké dans des bouteilles « réservoir » dans les véhicules.

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.

Néanmoins, à faible vitesse, les émissions de CO et CO<sub>2</sub> des véhicules fonctionnant au GNV sont supérieures à celles d'un véhicule Diesel Euro 6 (cf. p15)

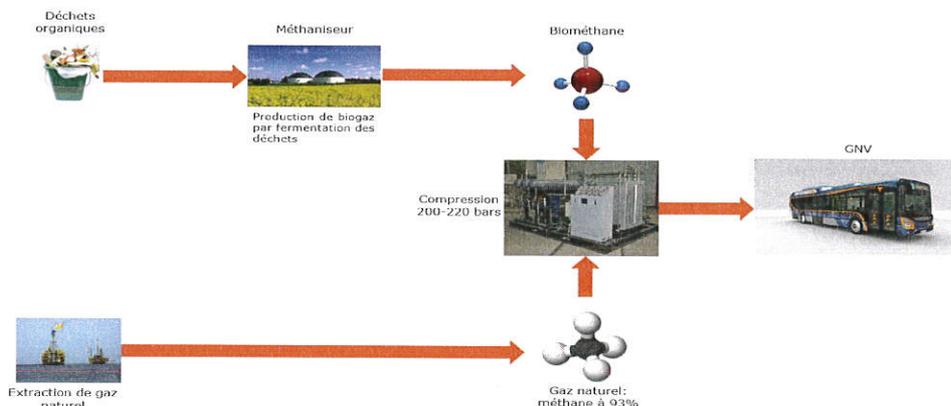


Fig : Principe de base du GNV

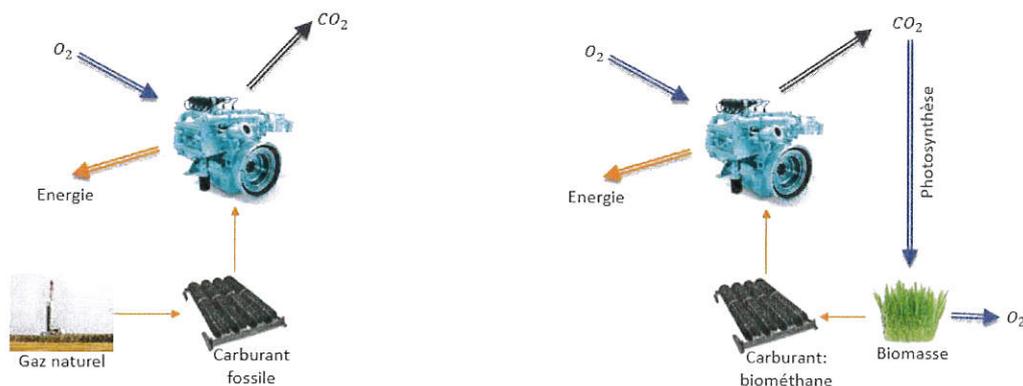


Fig : Cycle vertueux du carbone dans la combustion du biométhane

## 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 sécurité (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 se fait généralement de nuit. Chaque emplacement de stationnement doit donc posséder une arrivée de gaz.



Fig : Atelier/Dépôt d'Atlanta (Tisséo - Toulouse), intégralement équipé pour les véhicules GNV

## c. Les flottes gaz

Fin 2016, 2 903 véhicules circulaient au GNV, les plus grosses flottes se situant à Lille, Bordeaux, Nantes et Toulouse.

A titre d'exemple, en 2016, le réseau de Tisséo-Toulouse comptait 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) disposent des flottes au gaz les plus importantes.

#### d. Infrastructure de charge

Le GNV nécessite la mise en œuvre d'une infrastructure dédiée de distribution. Le coût de cette infrastructure est sujet à des variations en tenant compte :

- du nombre de véhicules
- du type de charge (rapide, lente)
- de la présence ou non d'autres flottes captives publics (collecte des déchets, etc.)
- de l'ouverture ou non au public ou à d'autres flottes privées (transport de marchandises, etc.)

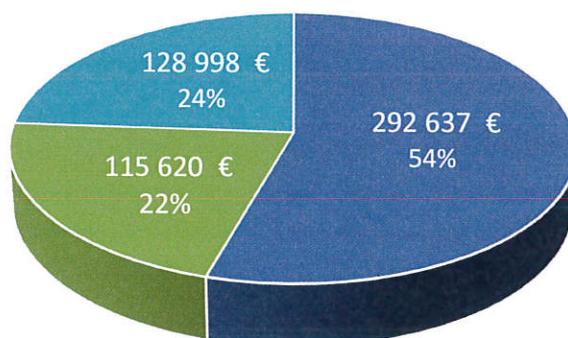
Pour les structures ne disposant pas à ce jour d'une installation :

- un coût de 20 000 € en moyenne par véhicule est mis en avant pour un parc de 20 bus soit un investissement de 400 000 € (source GRDF).
- d'autres solutions existent à des coûts moindres mais elles restent peu adaptées pour une flotte de transport public.

#### e. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres GNV hors infrastructure

- **Coût moyen d'acquisition :**  
292 637 €
- **Coût moyen énergétique :**  
115 620 € (consommation moyenne 48,2 kg/100km, basé sur cycle 40% SORT1 et 60% SORT2)
- **Coût moyen de maintenance préventive :** 128 998 € soit 0,21€ /km
- **Coût de possession total :**  
537 255 € HT

Coût de possession sur 15 ans d'un véhicule GNV 12m : 537 255 €



- Coût d'acquisition
- Coût énergétique
- Coût moyen de maintenance préventive

**Sur une durée de 15 ans, les coûts d'un bus GNV sont, en moyenne, 3% plus élevés 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'expérimentation. Au 1<sup>er</sup> janvier 2016, ils représentent 2,4% 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 que pour fournir l'énergie nécessaire au générateur, 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 environ.

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 (CO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>) qui découle de cette optimisation de la gestion d'énergie.

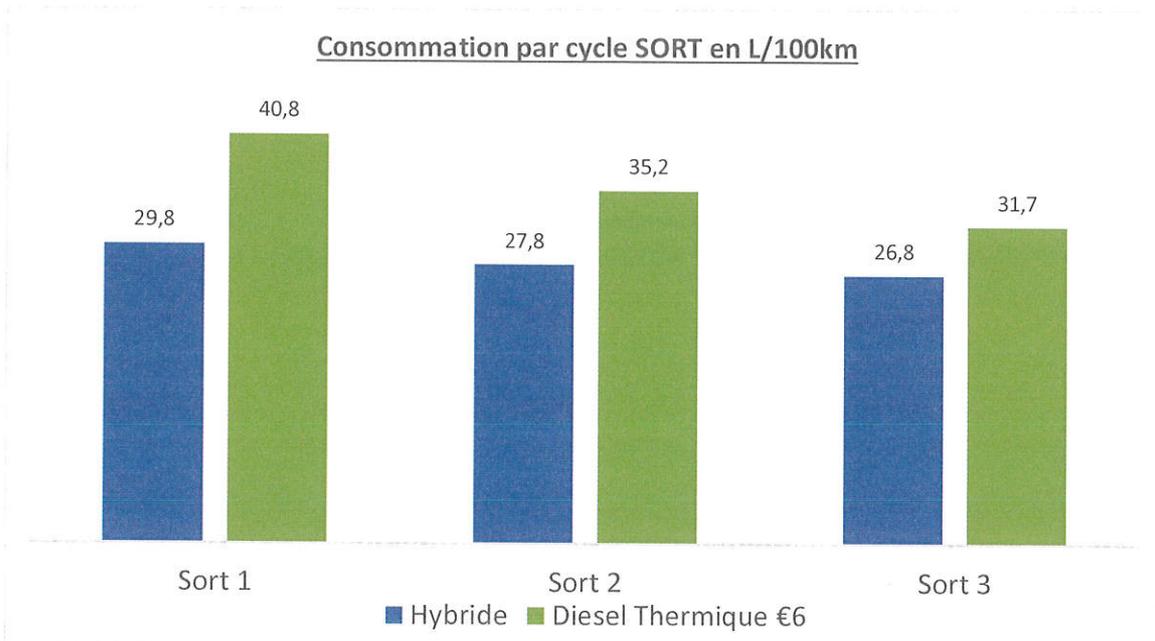
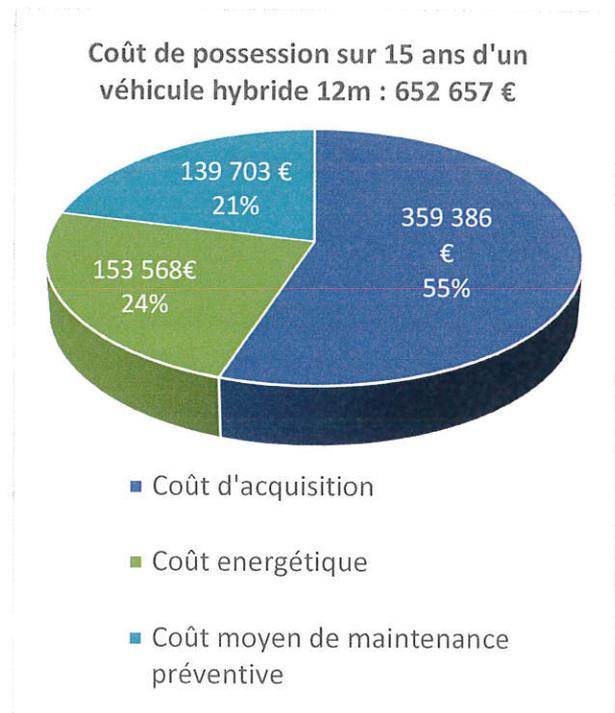


Fig : graphique comparatif des consommations par cycle SORT en fonction de la motorisation

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

- **Coût moyen d'acquisition**
  - 359 386 €
- **Coût moyen énergétique :**
  - 153 568 € (consommation moyenne 27,8L/100km, basé sur cycle SORT 2).
- **Coût moyen de maintenance préventive**
  - 139 703 € soit 0,23€/km
- **Coût de possession total sur la durée de vie : 652 657 € HT**



**Sur une durée de 15 ans, les coûts d'un bus hybride sont, en moyenne, 34% plus élevés que ceux d'un Euro 6 thermique**

## IV. Nouveaux carburants

### a. Principe de base

Les nouveaux carburants permettent d'accompagner la transition énergétique. Ils permettent une réduction notable des différentes émissions de polluant (Nox, HC, CO, Particules).

Ils peuvent être classés en deux catégories :

#### ➤ Les carburants substituables au diesel

Ces carburants fonctionnent avec un moteur identique à la technologie diesel. Cependant, en prenant en compte la réglementation et l'homologation des véhicules, il n'est pas possible, actuellement, d'intervenir les carburants durant la vie du moteur :

- Le Bio-diesel, ou B30, composé à 70% de Diesel et 30% de bio-diesel ;
- Le HVO, (Hydrotreated Vegetable Oils ou Huiles Végétales Hydro-traitées) né d'un hydrotraitement d'huiles (végétales, graisse animale, huiles usagées) avec de l'hydrogène qui permet une production d'hydrocarbure ;
- Le GTL, Gas-To-Liquid, qui consiste en la fabrication d'hydrocarbure à partir de gaz naturel. Ce carburant est autorisé en France depuis le 1er trimestre 2017.

#### ➤ Les carburants non substituables au diesel et donc nécessitant un moteur adapté

C'est le cas par exemple de l'éthanol avec le carburant ED95, élaboré à partir de résidus de vinification (marc de raisin) ou de production sucrière (betterave) et homologué en France depuis janvier 2016. Son utilisation nécessite une étanchéité renforcée et une maintenance plus importante, ce qui augmente les coûts moyens de maintenance préventive de 20 % par rapport au véhicule Diesel Euro 6.

La consommation moyenne augmente également de 40% par rapport au véhicule Diesel Euro 6 mais compensé par un prix d'achat de carburant inférieur et une incitation fiscale avec un taux de TICPE réduit. Le coût d'acquisition moyen est identique à un véhicule Diesel Euro 6 car les technologies sont similaires.

Ces carburants nécessitent des infrastructures de stockage similaires à celles du diesel. Techniquement, elles diffèrent au niveau des matériaux utilisés puisque, pour l'éthanol par exemple, le risque de corrosion est accru. Il faut porter une attention toute particulière à l'étanchéité de la cuve et de la tuyauterie.

Ces produits sont encore en phase de développement en France, c'est pourquoi leur disponibilité ne peut être totalement assurée notamment pour des gros volumes.

Même si l'éthanol en est à ses débuts en France, il est déjà une réalité en Europe et notamment en Suède à Stockholm, depuis les années 90.

En 1990, trente bus à l'éthanol étaient testés dans la capitale suédoise permettant de parfaire la technologie (additif amélioré, conduites de carburant adaptées, etc.). Aujourd'hui, sur les 2 000 autobus en circulation, plus de 400 circulent à l'ED95.

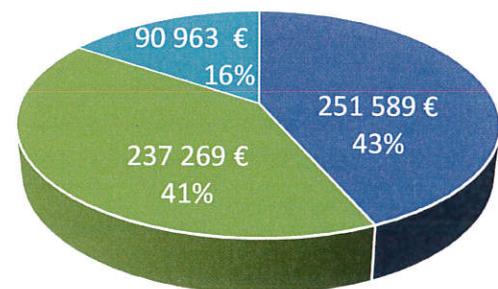
Ce développement s'est inscrit dans une démarche volontaire de la municipalité pour atteindre un objectif de neutralité en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2050. Les pouvoirs publics apportent une aide financière aux sociétés de transports en commun pour concentrer leurs investissements dans des bus à carburants renouvelables, notamment à l'éthanol.

Dans les premiers temps du développement de cette énergie, l'éthanol était importé du Brésil, générant des coûts importants et un impact environnemental allant à l'encontre de l'objectif initial. La Suède, acteur du projet européen BEST (Bio Ethanol for Sustainable Transport) de 2006 à 2010, a ensuite développé la production locale d'éthanol à base de déchets recyclés de la production de pâte à papier.

### b. Coût de possession d'un véhicule 12 mètres éthanol

- **Coût moyen d'acquisition**
  - 251 589 €
- **Coût énergétique**
  - 237 269 € (avec un coût de l'éthanol à 0,80€ / litre)
- **Coût moyen de maintenance préventive**
  - 90 963 €
- **Coût de possession total sur la durée de vie : 579 821 €**

Coût de possession sur 15 ans d'un véhicule éthanol 12m : 579 821€



- Coût d'acquisition
- Coût énergétique
- Coût moyen de maintenance préventive

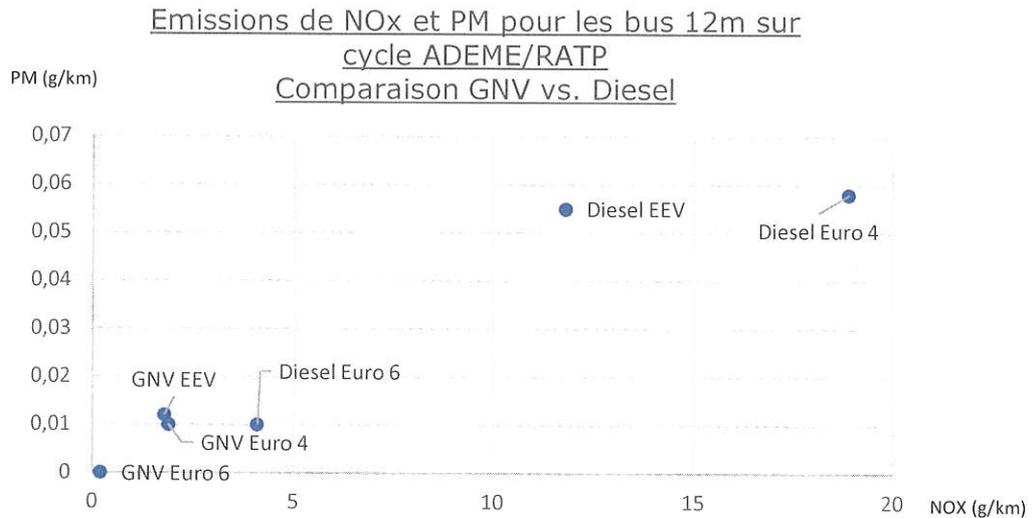
**Sur une durée de 15 ans, les coûts d'un bus éthanol sont, en moyenne, 10% plus élevés que ceux d'un Euro 6 thermique**

Accusé de réception en préfecture  
013-200054807-20171207-2017\_CT2\_586-DE  
Date de télétransmission : 19/12/2017  
Date de réception préfecture : 19/12/2017

## V. Synthèse des coûts

Technologies	Coût de possession sur 15 ans	Coût du véhicule pour 1 000km	Les +	Les -
Diesel €6	521 874 €	870 €/1 000km	Technologie connue et maîtrisée.	- Emissions Nox, HC, CO et particules- Image dégradée
GNV	+3 %	895 €/1 000km	Baisse des émissions, Coût énergétique.	- Emissions CO et CO2 à faible vitesse
GNV avec installation (base de 20 véhicules)	+ 7%	937 € / 1000km	Baisse des émissions, Coût énergétique.	- Emissions CO et CO2 à faible vitesse
Ethanol	+ 10 %	965 €/1 000km	Baisse des émissions, Economie circulaire.	- Consommation +40%, - Coût maintenance +20%
Hybrides	+ 20 %	1 088 €/1 000km	Coût énergétique.	- Coût de possession

## VI. Focus sur les émissions polluantes

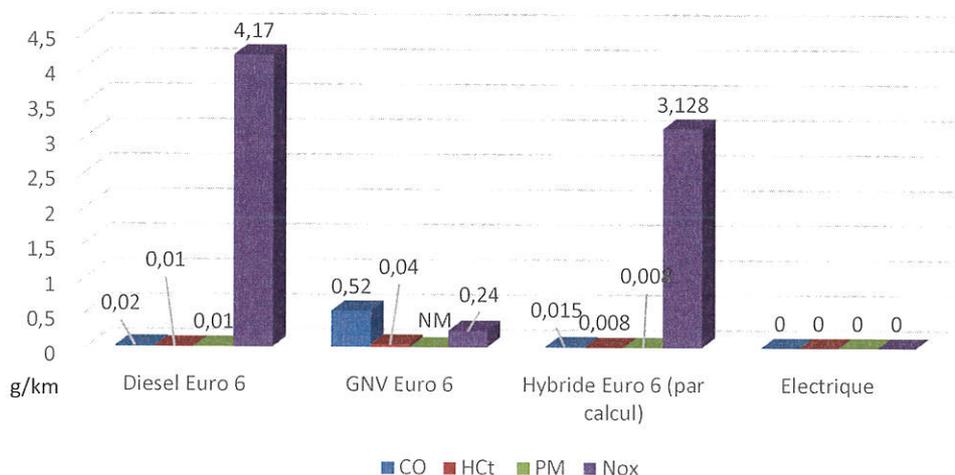


Ces résultats sont issus de tests réalisés par l'UTAC (Union Technique de l'Automobile du motorcycle et du Cycle – Organisme privé et indépendant, qui propose des services dans tous les domaines de la mobilité terrestre : réglementation et homologation, essais et expertise technique : environnement,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

Selon l'ADEME, à faible vitesse, les émissions de CO<sub>2</sub> 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



## VII. Motorisation Electrique

### a. Principe de base

Les véhicules électriques se déplacent grâce à une chaîne de traction fonctionnant avec un moteur électrique qui peut être alimenté de trois façons :

- par la captation du courant à l'aide de perches comme pour un trolley
- par l'hydrogène
- 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 utilisation urbaine.

Il existe trois stratégies d'acquisition concernant les batteries :

- Achat du pack batterie
- Location du pack batterie en full maintenance
- Véhicule en contrat d'entretien complet

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.

L'électricité nécessite la mise en œuvre d'une infrastructure de distribution dédiée, en fonction du type de charge :

- Au dépôt, charge lente :
  - Borne individuelle. Le coût moyen des solutions actuelles est d'environ 50 000 € par véhicule
- Par opportunité, charge rapide pour relier le terminus opposé :
  - Par pantographe
  - Par induction

Les coûts de ces solutions sont proches de 350 000 € pour une station, hors génie civil.

## b. La recharge en bout de ligne par pantographe

### ➤ Principe :

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 8 mn) à chaque terminus via un pantographe permettant des intensités électriques élevées. Plusieurs constructeurs se sont déjà lancés dans l'expérimentation des véhicules hybrides et/ou électrique rechargeables en bout de ligne.

### ➤ Projets en cours :

- Volvo développe un bus électrique hybride en Suède. Les réseaux de Göteborg et Stockholm participent à l'expérimentation avec, respectivement, 3 et 8 véhicules. L'autonomie annoncée par le constructeur est d'une dizaine de kilomètres.



Volvo 7900

## c. Le biberonnage : la recharge à chaque arrêt

### ➤ Principe :

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

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

➤ **Projets en cours :**

- PVI (WATT) : durant l'année 2015, une navette aéroportuaire a assuré l'exploitation entre les 2 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 recharge, grâce au déploiement d'un bras automatisé, à chaque station. Il a été testé durant deux mois à Paris à la fin de l'année 2015.



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

#### d. La recharge par induction : le système sans contact

La recharge par induction est un système d'alimentation du véhicule sans contact, qui empêche tout risque d'électrocution. Le rendement de ce système est inférieur aux systèmes avec contact (recharge au dépôt / pantographe / biberonnage), ce qui implique un appel d'énergie supérieur pour une capacité de recharge équivalente. Ce système est également plus cher avec des coûts de mise en œuvre pouvant dépasser les 500 000 €. Ses principaux avantages sont la sécurisation de la recharge et l'absence d'impact visuel sur l'environnement et le patrimoine urbain (sites protégés, historiques, etc.)

Il existe deux types de technologies de recharge par induction :

- le véhicule s'abaisse pour s'approcher au plus près du système de recharge,
- le système de recharge se surélève pour s'approcher du véhicule.

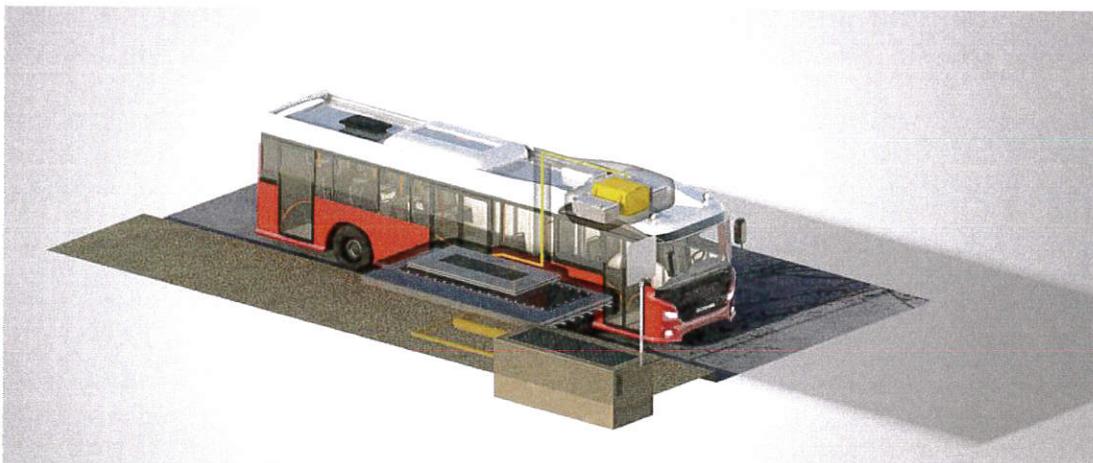


Illustration d'un système de rechargement par induction avec véhicule Scania

## e. L'Hybride – sans émission

### ➤ Principe :

Un nouveau type de véhicule hybride est en cours de développement par plusieurs constructeurs. Ces nouveaux hybrides auront la capacité de basculer en full électrique dans les zones « cœurs de ville » pour une courte distance (4 à 5 km). Ainsi, ces véhicules pourront être considéré comme « à faible émissions » selon les principes du décret n°2017-23 du 11 janvier 2017 sur la loi de transition énergétique.

### ➤ Projet en cours :

- 11 autobus standards Volvo 7900 hybrides électriques circulent sur le réseau urbain de Namur, exploité par l'entreprise TEC.

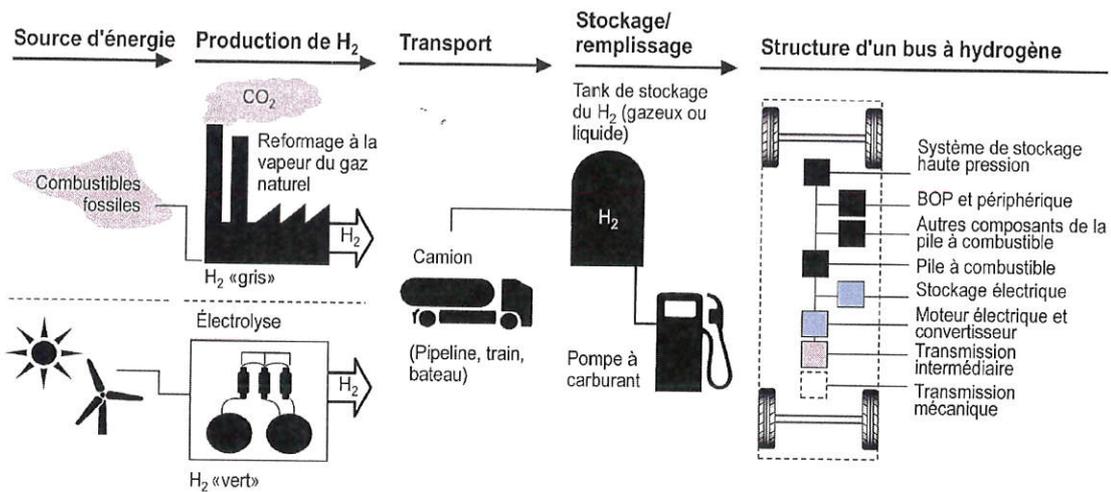
## f. Les véhicules PAC (Pile à combustible – Hydrogène)

### ➤ Principe :

Un bus équipé d'une pile à combustible (PAC) est un véhicule électrique dont l'énergie est produite directement à bord. 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 qui 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 performant en termes d'émissions de polluants.



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 se sont déroulés en Europe au travers du projet CHIC (Clean Hydrogen In European Cities) de 2010 à 2016.

En 2015, 56 bus à hydrogène étaient en démonstration dans 9 villes européennes. Le projet JIVE (Join Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe) qui s'inscrit sur la période 2017/2022 avec pour objectif une baisse de 25 % du prix des véhicules grâce à l'engagement de nouvelles collectivités. En atteignant un certain volume, les prix d'achat pourraient passer sous la barre des 625 000 € contre 850 000 € actuellement.



Van Hool équipé d'une pile à combustible UTC Power/Siemens

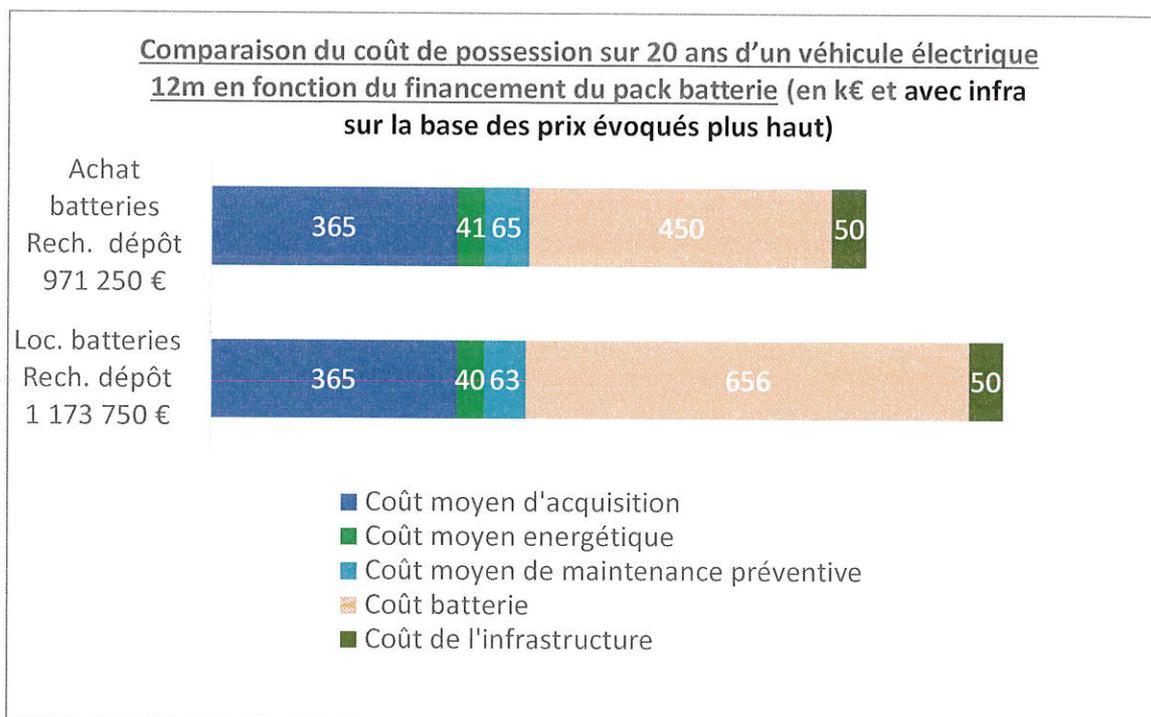
## VIII. Analyse économique de différents scénarios liés au véhicule électrique

Pour définir un prix de revient, 4 scénarios ont été déterminés :

- Location des batteries et recharge au dépôt
- Achat des batteries et recharge au dépôt
- Location des batteries et recharge par opportunité
- Achat des batteries et recharge par opportunité

A noter que les coûts d'acquisitions pour cette filière sont le reflet d'une offre encore limitée. Chaque projet diffère et possède des spécificités propres dont les coûts ne peuvent être généralisés. Avec l'industrialisation des solutions, les coûts devraient devenir plus lisibles à moyen terme.

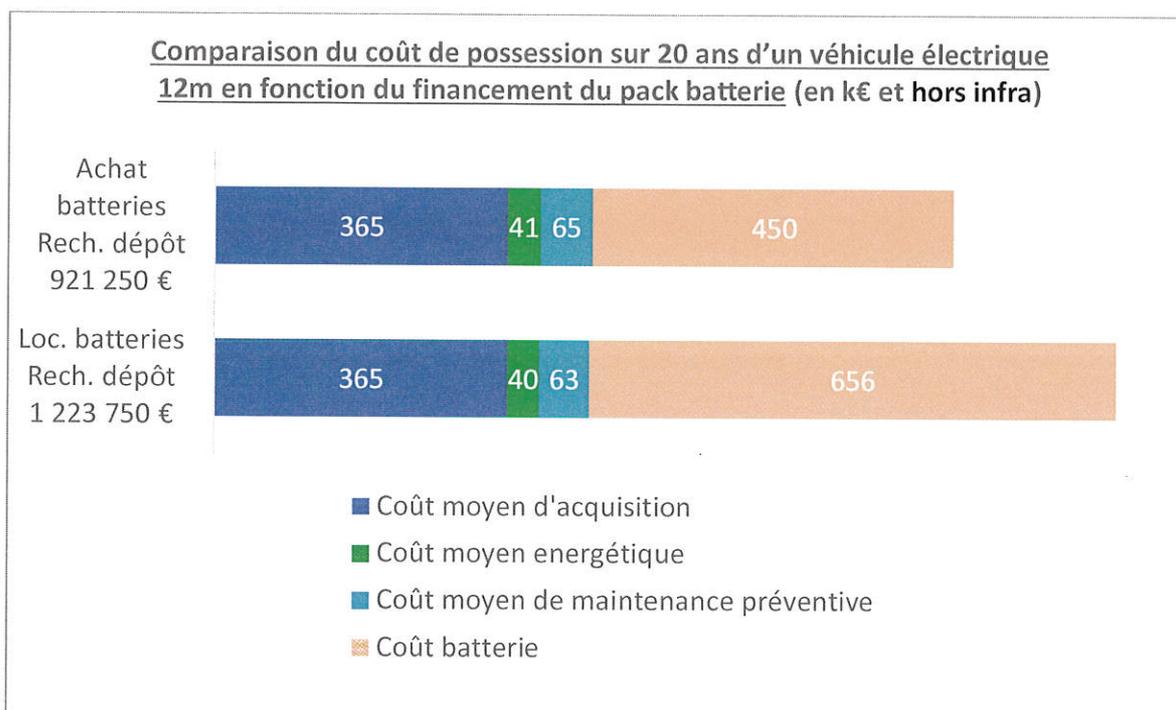
### a. Achat ou location des batteries et recharge au dépôt (coût infrastructure inclus)



Le coût batterie dans le cas de l'achat prend en compte deux packs batterie sur la durée de vie du véhicule déterminée à 20 ans.

Le coût de location est plus important que celui de l'achat, car le constructeur intègre le risque industriel (remplacement du pack si nécessaire) et financier (financement de l'investissement).

## b. Achat ou location des batteries et recharge au dépôt (hors infrastructure)

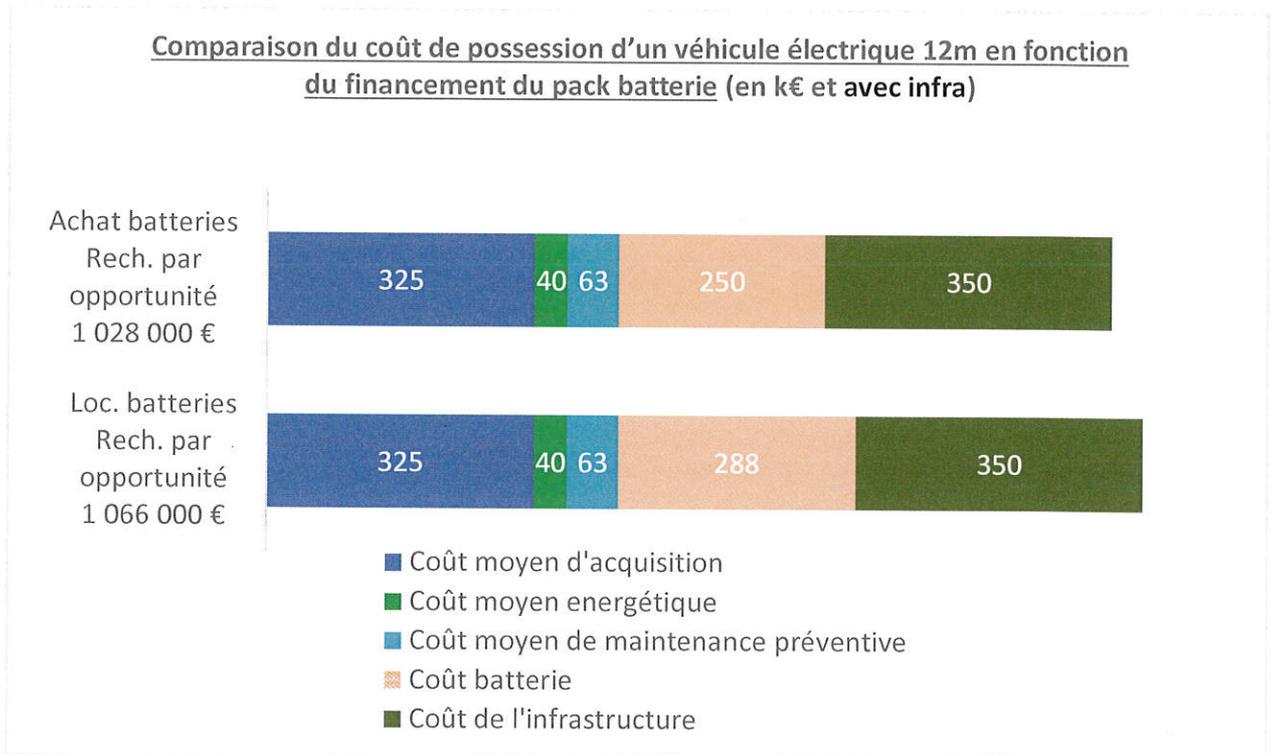


Le prix varie en fonction du mode d'acquisition des batteries. Sur 20 ans, il est provisionné deux packs batteries dans le coût d'acquisition du véhicule.

Comparaison entre achat et location :

- En choisissant l'achat, on privilégie un coût inférieur, mais l'autonomie et plus généralement les performances des batteries restant incertaines, cet investissement revêt un risque technologique.
- A contrario, la location permet de limiter le risque mais s'avère plus onéreuse sur la durée de vie du véhicule.

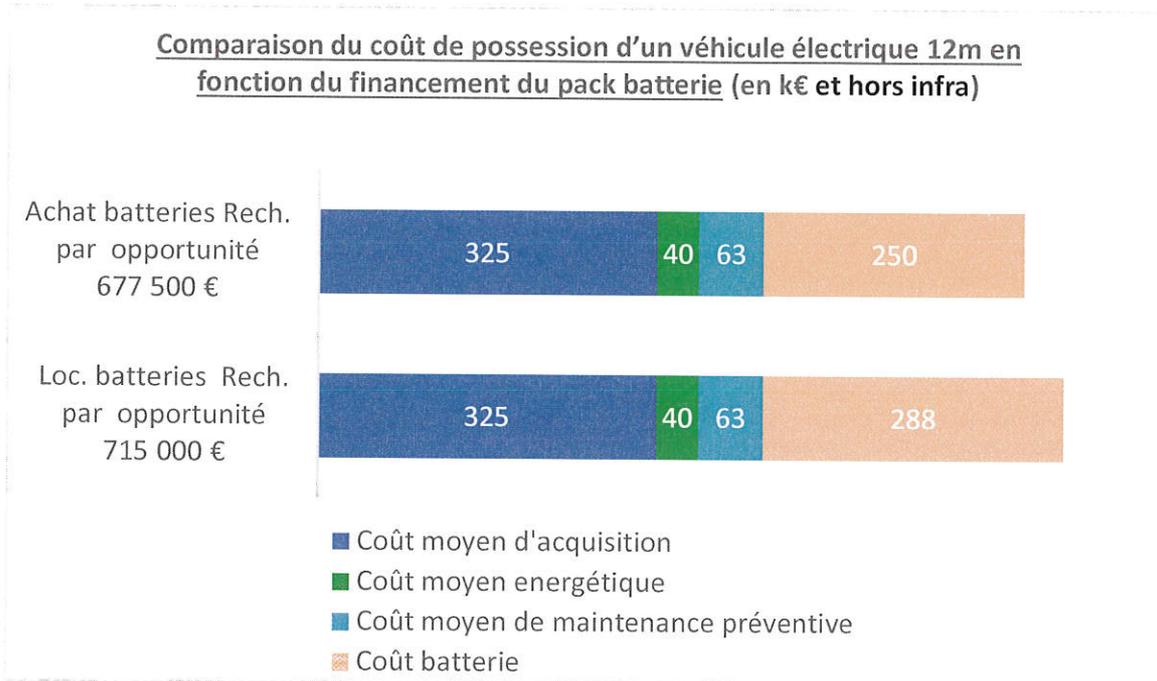
### c. Achat ou location des batteries et recharge par opportu- nité (avec infrastructure)



On note une différence de prix concernant les batteries en fonction du type de charge. Dans le cas de la recharge par opportunité, les capacités de stockage de l'énergie sont inférieures du fait du rechargement durant le trajet ou au terminus. Le besoin est moindre et donc le prix inférieur.

Le coût de l'infrastructure à 350 000 € correspond à une station de charge, à mettre en place sur la ligne. Ce prix peut varier en fonction de la topographie, de la distance de la ligne et donc de la puissance à fournir au point de recharge. Le nombre de véhicules est aussi un paramètre important puisqu'il permet de répartir le coût de la station de charge comme le montre le graphique p28

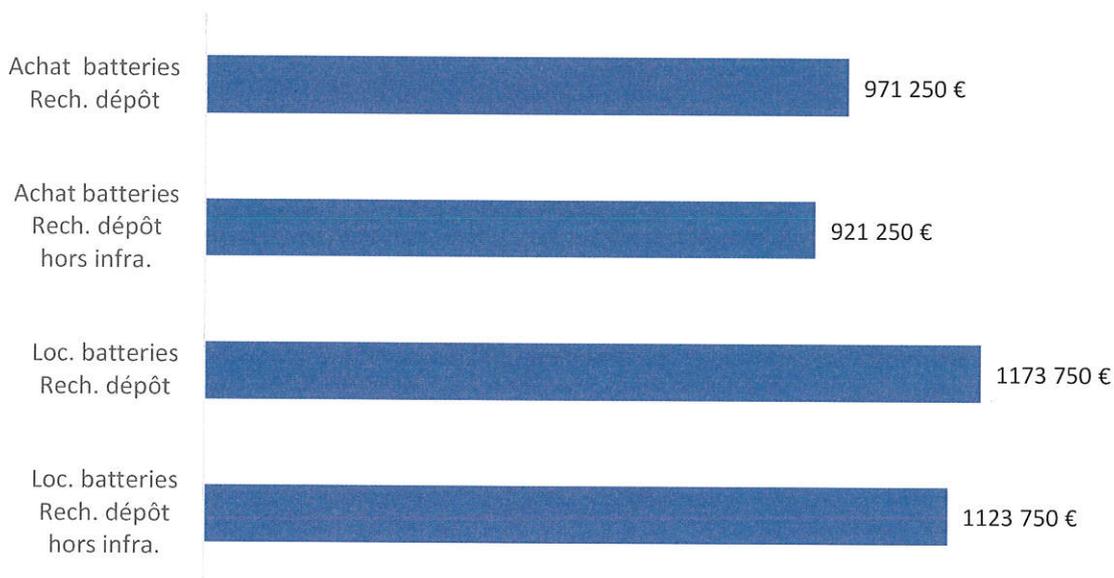
#### d. Achat ou location des batteries et recharge par opportu- nité (hors infrastructure)



Ce scénario est similaire à celui exposé dans le graphique b. p24. En effet, la variation du coût de possession provient des coûts liés aux batteries. La location des packs batteries, l'option la plus chère, permet de limiter le risque technologique. L'achat des packs batteries, l'option la moins chère, permet d'alléger le coût de possession au détriment de la garantie technologique.

Le graphique ci-dessous indique les coûts selon les scénarios de recharge au dépôt pour un véhicule :

Comparaison du coût de possession de véhicules électriques

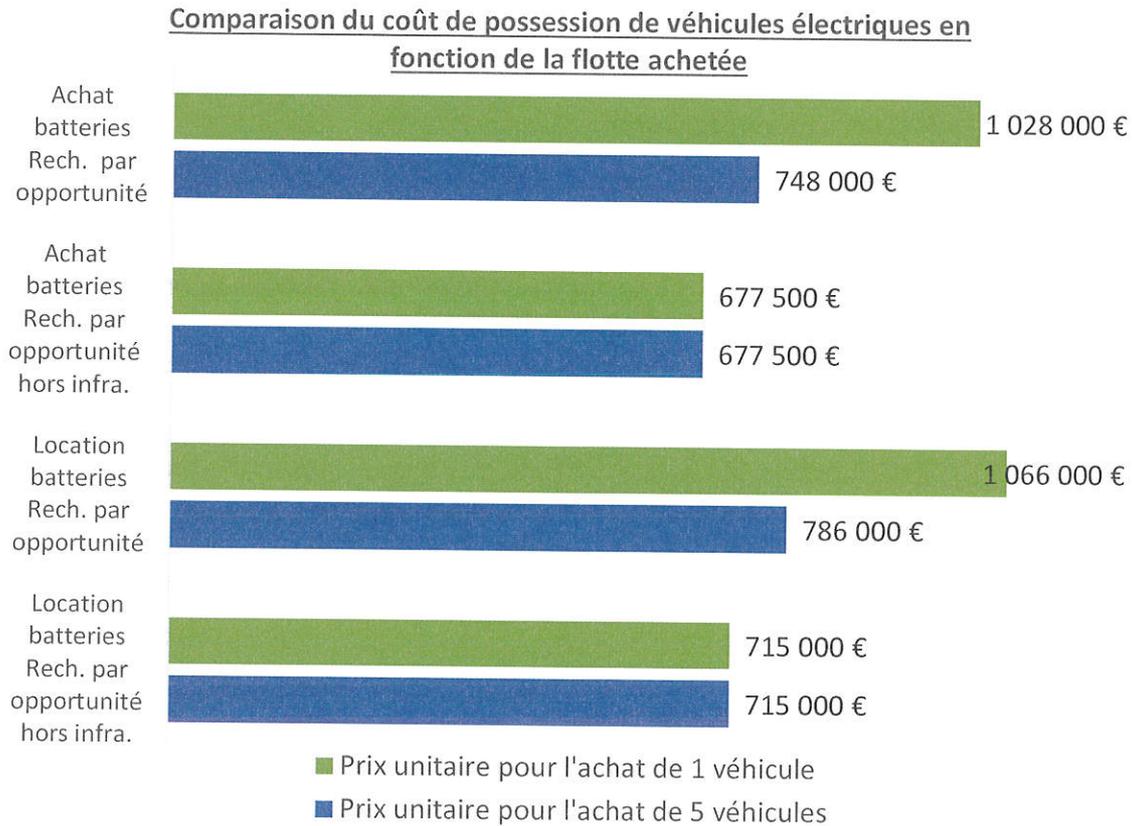


Le coût de possession d'un véhicule ne varie pas en fonction du volume acheté : il est identique pour un ou plusieurs véhicules car l'infrastructure de charge est propre à chaque unité. Cependant des solutions d'infrastructures mutualisées permettront de procéder aux chargements pilotés de plusieurs véhicules simultanément. Le but étant de délivrer l'énergie nécessaire au véhicule qui en a le plus besoin. Ce système prend donc en compte l'état de charge des autres véhicules.



Fig : Irizar i2e électrique – réseau RTM

Le tableau ci-dessous indique les coûts selon les scénarios de recharge par opportunité, pour 1 ou 5 véhicules



Le coût de l'infrastructure correspond à une borne de recharge en bout de ligne. Ce coût peut être réparti entre plusieurs véhicules, comme dans l'exemple ci-dessus avec l'achat de 5 véhicules, soit un coût de 70 000€ / Véhicule. Attention selon le profil de la ligne, il peut y avoir la nécessité d'installer plusieurs stations, et donc une multiplication de ce coût unitaire.

Quelle solution électrique choisir ?

Quand une collectivité souhaite s'engager dans une démarche portant sur l'acquisition de solution de transport électrique, il convient de procéder à une analyse du besoin :

- Quelle est la topographie de la ligne ?
- Quelle est sa distance ?
- Quelles sont les capacités des infrastructures de transport de l'électricité présentes sur le territoire ?
- Quel niveau de confort ?

En fonction de ces premières réponses, l'orientation vers un mode de charge plutôt qu'un autre sera privilégié.

Le dimensionnement du nombre de véhicule à mettre en exploitation et des infrastructures de charge permettra une approche du coût de la solution.

La technologie évoluant et chaque territoire ayant ses caractéristiques, il est aujourd'hui difficile de donner des estimations de coûts qui soient transposables et précises.

## IX. Synthèse globale :

La CATP avait choisi en 2014 de lancer une première étude comparative sur les motorisations afin de fournir aux collectivités et aux acheteurs publics une aide à la décision au-delà du lobbying des différentes filières. Depuis lors, le contexte général a fortement évolué :

- La loi sur la transition énergétique et les différents décrets d'application ont donné un cadre réglementaire
- La technologie a évolué :
  - o De nouveaux carburants sont apparus pour les moteurs thermiques
  - o Les véhicules électriques se sont diversifiés au niveau du gabarit mais aussi de la technologie des batteries et des systèmes de recharge
  - o La filière hydrogène se relance
- La CATP dispose grâce au labo AGIR de retours d'expérience de plus en plus nombreux forts des 1150 véhicules vendus depuis 2014

L'étude 2017 a ainsi permis de dégager quelques grandes tendances :

- Le diesel, bien que condamné à moyen terme, reste la technologie la mieux maîtrisée et économiquement la plus performante. A ce titre, la CATP a pu montrer à travers une étude de cas que le Diesel €6 offrait à court terme la meilleure voie pour engager la transition énergétique. Paradoxalement, parce qu'il est financièrement plus abordable, le diesel Euro 6 permet de remplacer plus rapidement les véhicules les plus anciens donc les plus polluants.
- Les nouveaux carburants substituables ou non au diesel tel que le GTL ou l'Ethanol permettent en outre une alternative de transition qu'il convient de suivre avec attention.
- Le GNV, offre un coût de possession proche du véhicule Diesel Euro 6. Les installations fixes nécessaires à son usage, notamment dans les ateliers, constituent cependant un budget conséquent prendre en compte. Le GNV présente un intérêt écologique réel même si à faible vitesse les émissions de CO et CO2 posent problème. La filière biogaz autour de la méthanisation de proximité est enfin à suivre avec intérêt car elle pourrait constituer une évolution pertinente.
- La filière « hybride » tend à se développer plus spécifiquement dans sa version apte à circuler en mode électrique à l'intérieur zones urbaines voir des Zones à Circulation Restreinte. Cette orientation est sans doute une évolution permettant de renforcer cette filière alors que les coûts de possession sont plutôt élevés.

- Enfin la filière électrique progresse rapidement à la fois d'un point de vue technique et au niveau de son industrialisation. Pour autant, les retours d'expérience restent limités et les coûts élevés. Il faudra encore quelques années pour voir cette filière prometteuse être réellement opérationnelle. La pile à combustible (véhicules à hydrogène) constitue également une technologie complémentaire de la filière électrique pour laquelle il faudra vérifier que le regain d'intérêt se transforme véritablement en filière industrielle performante.

La CATP continuera à suivre les évolutions des différentes filières afin de garantir la meilleure information objective aux collectivités. De même, elle participera à l'amélioration des véhicules en travaillant avec ses différents fournisseurs à partir des retours d'expérience. Grâce à son expertise, la CATP est devenu un acteur de la transition écologique dans le secteur du transport public

## 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 : Bolloré, Heuliez, Irizar, Iveco, MAN, Mercedes, Scania, Solaris, Volvo, Yutong
- Producteur de carburant : Raisinor
- <http://www.cnr.fr/Indices-Statistiques/Espace-Gazole/Indicateurs-Gazole-France/#haut>
- <http://www.cetim.fr>
- <http://utp.fr/note-publication/le-parc-des-vehicules-des-services-urbains-au-1er-janvier-2016>
- <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

# CENTRALE D'ACHAT DU TRANSPORT PUBLIC

Une offre diversifiée au service des réseaux de transport public

## Bus et cars

Bus, cars, minibus et minicars, TPRM, trolleys, petits trains, etc Diesel et énergies alternatives.

Marques sélectionnées.

## SAEIV Clé en main

- Navinéo d'Inéo Systrans



## Système billettique standard



## Colonne de levage



## Systèmes de lavage



## Applications mobiles et sites web

- SCOOP



## Billettique « légère »

- 2Place pour les lignes urbaines et interurbaines
- 2School pour les lignes scolaires



2Place



2School

## Systèmes d'information voyageurs

- Seipra Score pour les girouettes
- Lumiplan pour les systèmes embarqués et au sol



## Système de vidéoprotection



## Carburants, lubrifiants et additifs

8 Villa de Lourcine

75014 PARIS

Tél : 01 53 68 04 21 <http://www.catp.fr>

Accusé de réception en préfecture  
013-200054807-20171207-2017\_CT2\_586-  
DE  
Date de télétransmission : 19/12/2017  
Date de réception préfecture : 19/12/2017

**OBJET : Aménagement du territoire - Déplacements, mobilité transports et infrastructures - Transition énergétique du parc de bus et cars de la Métropole - enjeux et perspectives pour le territoire métropolitain**

---

Après avoir pris connaissance du rapport, le Conseil de Territoire en prend acte et le transforme en délibération.

Ont signé le Président et les membres du Conseil de Territoire présents  
**Maryse JOISSAINS MASINI**



Signé, le 12 DEC. 2017