

DAIMLER

LES BUS A PILE A COMBUSTIBLE

Sommaire

- 1- Les origines
- 2- Le projet CUTE
- 3- Le projet ECTOS
- 4- Le projet de Perth
- 5- Le projet de Pékin
- 6- Le projet HyFLEET : CUTE
- 7- Le projet CHIC
- 8- Les projets JIVE
- 9- Conclusions

1. Les origines

Daimler, l'un des fabricants actuels de bus à pile à combustible, a conçu son premier prototype en mai 1997, à l'époque sous la marque DaimlerChrysler; il a été baptisé NEBUS (cf. Fig. 1).



Figure 1 – Le prototype NEBUS (1997)

Ce véhicule était équipé d'une pile Ballard (MK9), de type PEMFC, d'une puissance de 250 kW_e, alimentée par un réservoir de 21 kg d'hydrogène stocké sous 300 bars dans 7 bouteilles de type composite, placées sur le toit du véhicule. Il a effectué plus de 11 000 km et a été mis en service public pendant deux mois à Oslo, à titre de test.

Fort de cette expérience, le constructeur a présenté, en 2002, une deuxième version sur la base du modèle CITARO (cf. Fig. 2 et 3), très semblable sur le plan des caractéristiques énergétiques. La seule différence majeure était un stockage de 40 kg d'hydrogène à la pression de 350 bars assurant une autonomie de 250 km. Le coût unitaire de cette version était de l'ordre de 1,25 M€ (incluant la maintenance).

Auparavant, Daimler avait proposé en 2000 un ambitieux programme de démonstration à la Commission Européenne, qui l'avait accepté fin 2001 dans le cadre du 5^{ème} PCRD, sur la base du CITARO : ce furent les projets CUTE et ECTOS.



Figure 2 – Le prototype CITARO (2002)

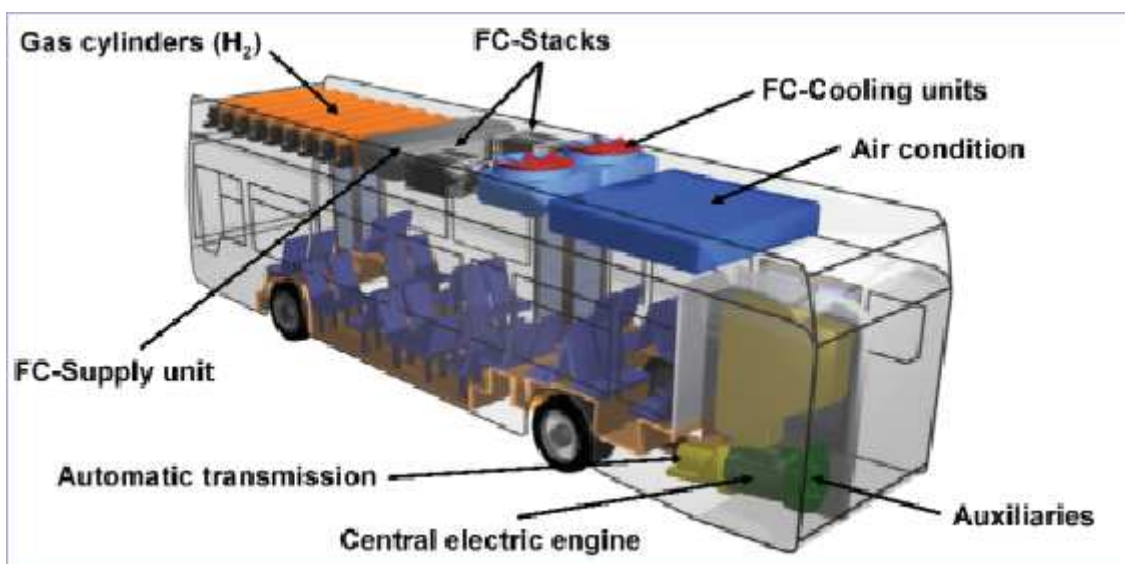


Figure 3 – Vue éclatée du bus **Citro**

2. Le Projet CUTE

Le projet **CUTE** (*Clean Urban Transport for Europe*) était une opération de démonstration de 27 bus à pile à combustible de type CITARO qui furent intégrés au réseau de transport public de 9 villes (3 bus dans chaque ville).

Les 9 villes retenues

- Amsterdam : les partenaires étaient Hoek Loos, Milieudienst Amsterdam, GVB, Nuon et Shell Hydrogen. L'hydrogène était produit par électrolyse, à partir de sources renouvelables, et stocké en station à 450 bars.
- Barcelone : les partenaires étaient TMB (*Transports Metropolitans de Barcelona*) et le pétrolier BP. L'hydrogène était produit par électrolyse avec de l'électricité provenant en partie de sources renouvelables
- Hambourg : les partenaires étaient HHA Hambourg (*Hamburger Hochbahn*), l'électricien HEW et le pétrolier BP. Les bus faisaient le plein d'hydrogène produit par électrolyse à partir de sources renouvelables et stocké à 450 bars.

- Londres : les partenaires étaient London Buses, First et BP. L'hydrogène était obtenu par reformage de combustibles fossiles.
- Luxembourg : les partenaires étaient Air Liquide, Shell Hydrogen, les Ministères de l'Economie et des Transports, FLEAA (*Fédération Luxembourgeoise des Exploitants d'Autobus*) et AVI Luxembourg (*Etablissement Assurance contre la Vieillesse et l'Invalidité*). L'hydrogène était distribué à partir d'un stockage à 420 bars.
- Madrid : les partenaires étaient Air Liquide, Gaz Natural, Repsol et EMT Madrid (*Empresa Municipal de Transporte*). L'hydrogène était produit par reformage de fuel et de gaz naturel.
- Porto : les partenaires étaient BP et STCP Porto (*Sociedade de Transportes Colectivos do Porto*). L'hydrogène était produit par reformage de gaz naturel.
- Stockholm : les partenaires étaient SL (*Transports publics de Stockholm*), Busslink, la Ville de Stockholm et Fortum. L'hydrogène était obtenu par électrolyse à partir d'électricité d'origine hydroélectrique.
- Stuttgart : les partenaires étaient SSB (*Stuttgarter Straßenbahnen AG*), le pétrolier BP, NWS (*Neckarwerke Stuttgart AG*), la Ville de Stuttgart et Switch. L'hydrogène provenait de reformage de gaz naturel.

Le premier de ces bus a été livré à la ville de Madrid en mai 2003, et les 26 autres le furent avant la fin 2004. Ils ont été testés pendant environ deux ans en parcourant près d'un million de km et en transportant plus de 4 millions de passagers. La quantité d'hydrogène utilisée fut de 190 T et les stations ont opéré plus de 8 900 remplissages. Le coût du projet avait été estimé à 52,5 M€ incluant une subvention de 18,5 M€ de l'UE. Aucun accident majeur n'a été relevé. Tous les acteurs ont considéré que ce projet fut un succès. Il s'est officiellement terminé en mai 2006.

3. Le projet ECTOS

Le projet **ECTOS** (*Ecological City TranspOrt System*) était une opération de démonstration de 3 bus de type CITARO, dans la ville de Reykjavik, en Islande, sur une durée de 2 ans, entre 2003 et 2005.

Pour comprendre le sens de cette initiative, il faut rappeler que l'Islande est le premier pays au Monde à avoir affiché sa volonté de devenir un pays 100% propre, c'est à dire sans émission de CO₂, et avec, comme source principale d'énergie, de l'hydrogène.

Les autobus étaient alimentés par une station dont l'hydrogène était produit par électrolyse, avec de l'électricité d'origine hydraulique.

Mis en œuvre par un consortium de compagnies européennes (*Shell Hydrogen, Norsk Hydro, DaimlerChrysler, Icelandic New Energy*), ECTOS avait pour objectifs :

- d'évaluer une infrastructure « hydrogène »,
- de comparer un système de transport public basé sur l'hydrogène, avec un système traditionnel.
- d'évaluer les impacts socio-économiques de ce type de changement,
- de faire une analyse de cycle de vie ainsi qu'une analyse coût-bénéfice.

Le coût total de ce projet a été de 6,7 M€, incluant une aide de l'U.E. de 2,8 M€.

4. Le projet de Perth

A l'issue de l'expérience CUTE, l'Australie a montré son intérêt pour la technologie des bus à pile à combustible en montant le projet STEP (**Sustainable Transport Energy Project**). Il s'agissait de la mise en service public, de 3 exemplaires du CITARO (baptisés EcoBuses), dans la ville de Perth. Ces bus ont circulé de septembre 2004 à septembre 2007 en parcourant 258 000 km, et transportant 320 000 passagers. L'hydrogène était fourni par la compagnie BP comme sous-produit d'une raffinerie proche.

5. Le projet de Pékin

Trois bus à pile à combustible de type CITARO avaient été prêtés par Daimler à la Chine à l'occasion des Jeux Olympiques à Pékin de 2008 et y ont circulé depuis leur livraison en novembre 2005.

Par la suite, de nombreux projets européens et internationaux ont vu le jour faisant appel à la concurrence. Daimler y a le plus souvent participé avec son modèle CITARO.

Ci-après sont évoqués les principaux projets européens qui sont alors apparus et auxquels Daimler a participé :

6. Le projet HyFLEET:CUTE¹

Les résultats très encourageants des programmes précédents ont conduit leurs acteurs à proposer à la Commission Européenne, dans le cadre du 6^{ème} PCRD, une suite qui a été acceptée : ce fut le projet HyFLEET:CUTE. Sur un montant total de 43 M€, la subvention de la Commission a été de 19 M€. Débutée en octobre 2006 l'opération s'est achevée fin 2009. Elle s'est distinguée des précédentes CUTE – ECTOS - STEP par les principaux éléments suivants :

- A une flotte de 33 bus à pile à combustible s'est ajoutée une flotte de 14 bus à moteur à combustion interne alimentés en hydrogène, construits par MAN et qui ont circulé à Berlin (cf. fiche 9.1). L'objectif était de comparer les deux filières, à pile à combustible et à moteur thermique.
- Des 11 villes (dix en Europe et Perth en Australie) qui testaient les bus à pile à combustible, 3 se sont retirées : Porto, Stockholm et Stuttgart. Les autres ont poursuivi l'expérimentation qui avait débuté avec CUTE/ECTOS avec les mêmes véhicules. A noter que la flotte de la ville de Hambourg a été portée de 3 unités -issues du programme CUTE- à 9, les 6 supplémentaires provenant des villes de Stockholm et Stuttgart qui s'étaient retirées. Hambourg fut ainsi, à cette date, la ville au monde possédant le plus de bus à pile à combustible. La Chine, pour sa part, a rallié ce programme en faisant circuler ce type de bus à hydrogène à Pékin.

Les 33 bus CITARO (Fig. 4) à pile à combustible étaient du type hybride (pile Ballard de 120 kW_e couplée à une batterie Li-ion pouvant fournir 180 kW). Leur consommation a été de 10-14 kg H₂/100 km comparée à une consommation de 20-25 kg H₂/100 km pour les bus MAN à moteur thermique alimentés en hydrogène. Le nombre de passagers transportés a été de 8,5 millions et 2,5 millions de km ont été parcourus. Une masse totale de 555 T d'hydrogène a été consommée. Aucun incident lié à la sécurité n'a été relevé.



Figure 4 – Le CITARO Fuel Cell Hybrid Bus (2009)

7. Le projet CHIC

Compte tenu du succès obtenu par le projet HyFLEET:CUTE, une suite a été proposée à la Commission Européenne, qui l'a acceptée: le projet **CHIC** (*Clean Hydrogen In European Cities Project*) qui a débuté mi-2011. Il a consisté à mettre en place, dans les transports publics, 56 exemplaires de bus à pile à combustible. Trois fournisseurs avaient été retenus: EvoBus (Daimler, Wrightbus et Van Hool. Huit villes avaient été retenues: Aarau (CH), Bozen (IT), London (UK), Milan

¹ <http://www.global-hydrogen-bus-platform.com/>

(IT) and Oslo (NO), Cologne (DE), Hamburg (DE) et Whistler (CA)). Ce projet, d'un montant total de 81,8 M€, s'est achevé en 2016.

8. Les projets JIVE

En janvier 2017 est lancé le projet européen **JIVE** d'un montant de 125 M€ qui a pour objectif de déployer 144 bus à pile à combustible alimentés par 7 stations-service (projet MEHRLIN). Ces bus sont déployés dans 5 régions : Cologne, Wuppertal et Rhein-Main en Allemagne, Londres, Birmingham, Dundee et Aberdeen au Royaume-Uni, South Tyrol en Italie, Riga en Lettonie et Slagelse au Danemark. Ce projet a une durée de 6 ans.

En janvier 2018 est lancé le projet complémentaire baptisé **JIVE 2** (*Second Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe*). Il déploiera 152 bus à hydrogène dans 15 villes en France, en Allemagne, en Islande, en Norvège, en Suède, aux Pays-Bas et au Royaume-Uni. Au total, les deux projets JIVE permettront de déployer près de 300 bus dans 22 villes en Europe d'ici 2020, le plus grand parc actuel.

9. Conclusions

Fin 2018, les bus Daimler, tous équipés de piles Ballard, auront parcouru des millions de km, et auront transporté des millions de passagers sans aucun incident et avec une très grande disponibilité (qui fut supérieure à 92% dans le cas du projet HyFLEET:CUTE). Ces chiffres montrent toute l'expérience acquise par ce constructeur qui est, à ce jour, celui qui détient la plus grande expertise sur cette technologie grâce à sa participation à tous les projets actuels.

Compte tenu du bilan actuel, il apparaît clairement que les performances de la filière « pile à combustible » sont définitivement supérieures à celles de la filière « moteur thermique à hydrogène » testée jusqu'en 2009 dans le cadre du projet HyFLEET:CUTE.

Pour ce qui concerne le coût de ces bus, le FCH-JU a fait le constat encourageant que le prix moyen du bus à pile à combustible a considérablement baissé grâce aux divers projets successifs, étant passé de 1,2 M€ au début des années 2000 à environ 0,5 M€ en 2019.