

PETIT HISTORIQUE DES TRANSPORTS URBAINS



Les débuts des transports urbains

Les premiers transports urbains connus seraient les « Carrosses à cinq sols » de Blaise Pascal, mis en service à Paris en 1662.



Omnibus parisien

Ce furent en tous cas les premiers transports assurant des parcours fixes sur cinq lignes. Mais leur existence a été éphémère, puisqu'ils n'ont fonctionné que durant une vingtaine d'années. C'est donc à Nantes que les premiers transports durables ont été créés, par la mise en service des « Dames Blanches », fondées par Stanislas Baudry en 1826. Il s'agissait d'omnibus à chevaux roulant sur la chaussée, avec des itinéraires fixes mais sans points d'arrêts obligés. Durant les années suivantes Baudry avait créé le même genre de

transport à Paris en 1828 ... avant de faire faillite en 1830.

Les premiers tramways à chevaux.

Ce mode de transport s'est développé dans de nombreuses autres grandes villes. Le principal inconvénient de rouler sur la chaussée était toutefois l'inconfort du voyage et l'effort important demandé aux chevaux.



Tram sur rails tiré par un cheval

Etant donné que le transport sur rails se développait à la même époque, avec la mise en service des premiers trains en Angleterre (ligne de Liverpool à Manchester en 1830) puis en France (ligne de Paris à Saint-Germain en 1837), l'idée a donc été de faire rouler les véhicules à chevaux sur des rails : ce fut l'avènement du « Tramway Américain » (en raison de sa première ligne mise en service à New-York). Il avait toutefois fallu adapter le rail aux chaussées des villes : ce fut l'invention du rail à gorge encastré par l'ingénieur français Loubat en 1852. De nombreuses villes ont adopté ce mode de transports, dont Paris en 1854 avec la ligne Concorde-Boulogne. Mais certaines autres, telles que Nantes, ne l'ont pas adopté et sont tout de suite passé aux tramways dits « mécaniques ».

Les tramways mécaniques

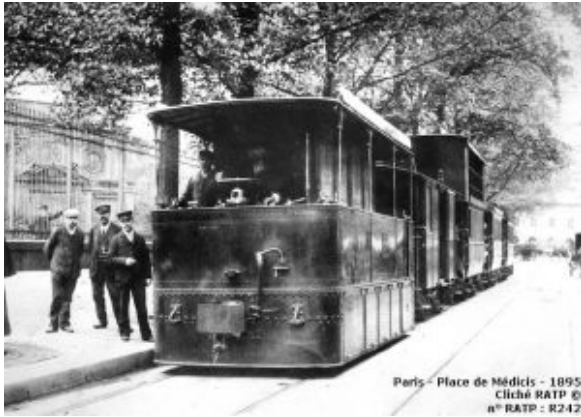
Cette idée du « tramway mécanique » était dans l'air depuis qu'en 1863, à Londres, avait été mise en service la première ligne d'un métro à vapeur de Paddington Station à Farringdon Street : pourquoi ne pas faire circuler des véhicules à vapeur en extérieur, alors qu'on pouvait les faire en souterrain ?



Tram à vapeur

C'est ainsi que vers 1870 les premiers essais de trams à vapeur ont été effectués dans diverses villes du monde, et que le tramway à vapeur « Harding » a commencé à circuler en 1876 à Paris de la gare Montparnasse à la gare d'Austerlitz. D'autres systèmes de trams à vapeur ont été utilisés différentes villes. A Strasbourg, par exemple, un système hybride avait été utilisé à partir de 1878, qui consistait en l'utilisation de petites locomotives à vapeur en banlieue, et de la traction hippomobile en centre ville afin d'éviter les fumées (Strasbourg a d'ailleurs conservé des tramways à vapeur sur certaines lignes jusqu'en 1925). Valenciennes et Saint-Etienne avaient également mis en service en 1881 un tramway à vapeur à voie métrique ; les locomotives étaient de type « Tubize » à deux postes de conduite.

Mais l'inconvénient majeur du tramway à vapeur en ville était la pollution par les fumées et le risque d'incendie. D'où l'idée de Louis Mékarski d'utiliser des trams à air comprimé.



Tram à air comprimé Mékarski

Après quelques essais à Paris à partir de 1876, la première ligne de ce type a été mise en service à Nantes, entre Doulon et Chantenay, en 1879. Chaque véhicule comportait plusieurs réservoirs d'air, d'une capacité totale de 1500 litres sous une pression de 30 atmosphères. La mise en pression de l'air dans le réservoir se faisait à chaque retour au terminus dans un atelier de production d'air comprimé. Le principe de transmission du mouvement par piston et bielles était le même que celui des machines à vapeur. Par la suite d'autres lignes ont été mises en service, des canalisations souterraines permettant d'amener l'air comprimé en divers points de ces lignes pour refaire la pression, on appelait cela le « biberonnage ». Devant le succès de ce système, d'autres villes l'ont adopté : La Rochelle, Saint-Quentin, Vichy, Aix les Bains, Paris et Berne.



Quelques villes avaient également essayé la traction par câble là où il y avait des pentes importantes : cas de San-Francisco, dont les « cable cars » fonctionnent encore aujourd'hui. Les câbles étaient entraînés par une machine à vapeur, avant d'être ensuite électrifiés. Un système de ce

type a fonctionné à Laon jusqu'en 1971, remplacé par le POMA 2000 en 1989 (lui-même supprimé en août 2016).

Pendant ce temps le métro, suivant l'exemple de Londres, se développait dans certaines capitales, dont l'importance croissante rendait le tramway insuffisant : New-York (l'Elevated) en 1878 et Berlin (le Stadtbahn) en 1882 ont ainsi été équipés de métros à vapeur. Des études ont été menées dans ce sens à Paris à partir de 1870, mais tout d'abord n'ont pas abouti.

Les tramways électriques.



La rame conservée du « Péril Jaune » de Nantes (1914)

Mais la grande innovation a été l'utilisation de la traction électrique, d'abord dans les tramways. C'est en 1881 que le premier tram électrique Siemens a circulé à Lichterfeld près de Berlin, suivi par plusieurs villes d'Europe et des Etats Unis. En France c'est Clermont-Ferrand qui, en 1890, a mis en service la première ligne de Royat à Montferrand (en voie métrique). L'alimentation se faisait par ligne aérienne, à l'aide d'un chariot roulant sur le câble. Paris a suivi en 1892, mais au début avec alimentation par batteries afin d'éviter l'effet inesthétique des lignes aériennes d'alimentation. Ce système ayant toutefois montré bien vite ses limites, la recharge des batteries devant être effectuée

très souvent, et aussi en raison des gaz acides dégagés, Paris est passé ensuite à l'alimentation par rail enterré en caniveau, ancêtre du système à alimentation par le sol qui sera reprise dans les années 2000, avant d'adopter l'alimentation par câble aérien en 1895. A noter que, en raison des excellentes performances du tramway Mékarski à air comprimé, Nantes n'est passé au tram électrique qu'en 1913, la dernière ligne de tram à air comprimé circulant jusqu'en 1917. Strasbourg a commencé l'électrification de son réseau de tramways en 1895.

Développement du métro

Pendant ce temps le métro suivait également cette évolution vers la traction électrique, bien mieux adaptée que la traction vapeur pour des lignes souterraines.



Le « Tube » de Londres

C'est d'abord Londres qui a commencé en 1890 l'électrification de ses lignes, avec une solution assez curieuse : la tension d'alimentation est de 630 volts, mais avec un rail à + 420 V et un autre à - 210 volts, ce qui oblige à utiliser des voies à 4 rails, 2 de roulement et 2 de traction, ce système permettant d'éviter la corrosion des rails de roulement et autres canalisations par les courants de fuites lors du retour du courant par ces rails. Londres, qui utilise encore les voies à 4 rails, sera toutefois la seule ville à le faire, toutes les autres ayant généralisé le système à 3 rails avec

retour du courant par les rails de roulement.

Les autres capitales ont, à la suite de Londres, adopté la traction électrique pour leur métro. La première ville « continentale » fut ainsi Budapest en 1896, suivie de Vienne en 1898, puis de Paris qui inaugura, à l'occasion de l'Exposition Universelle de 1900, sa première ligne de la Porte de Vincennes à la Porte Maillot. Le rail de traction était alimenté en courant continu 600 volts, tension qui fut généralisée aux réseaux de tramways, puis qui fut portée à 750 volts à la fin du siècle dernier. Par la suite, le métro de Berlin fut électrifié à partir de 1902, ensuite Athènes en 1904, Philadelphie en 1907, Buenos-Aires en 1913, Madrid en 1919, Moscou en 1935 ... A Paris, les lignes 11, puis 1,4 et 6 ont été équipées de véhicules sur pneus à partir de 1956, technique exportée par la suite à Montréal, Mexico et Santiago du Chili. (En fait les rames comportaient des roues métalliques de secours pouvant rouler sur rails, permettant de n'avoir qu'un rail de traction avec retour du courant par les rails auxiliaires). A partir de 1969 plusieurs lignes de RER ont été également mises en service à Paris, à l'instar d'autres capitales : en dehors du centre ville les trains empruntent les voies SNCF pour desservir la banlieue; ils roulent à gauche comme les trains, et sont alimentés par caténaire en 1500 V CC.

Avènement de l'autobus.

Mais un autre moyen de transport allait faire son apparition au début du XXe siècle : l'autobus. C'est à Paris en 1905 que furent mis en service deux lignes avec deux modèles d'autobus : un autobus à vapeur « Serpollet » sur la ligne Montmartre – Saint-Germain des Prés, et un autobus à essence « Brillé » (à impériale) sur la ligne Bourse – Cours la Reine. C'est ce dernier qui l'emportera de suite. Toutefois, en raison de la Grande Guerre, et après des débuts laborieux, les

réseaux d'autobus ne se développeront que plus tard : après 1918 à Paris, à Nantes à partir de 1924, et à Strasbourg à partir de 1928.

Les améliorations apportées aux autobus, et leur plus grande maniabilité par rapport aux tramways, ont fait que ceux-ci, malgré leur apogée entre les deux guerres, ont peu à peu entamé leur déclin. A Paris les tramways ont cessé de circuler à partir de 1937. Les autres villes de France ont à leur tour supprimé leurs tramways après la 2eme Guerre Mondiale : Grenoble en 1952, Lyon et Clermont-Ferrand en 1956, Nantes et Bordeaux en 1958, Strasbourg en 1960, Valenciennes ayant été la dernière ville à conserver une ligne de tramway jusqu'en 1966.



Tram à voie métrique
de St Etienne

Seules trois villes françaises ont toujours conservé une ligne de tramway : Marseille (le « 68 »), Saint-Etienne et Lille (avec le « Mongy »), les réseaux de ces deux dernières villes étant à voie métrique.

A noter que Saint-Etienne, dont la création du réseau remonte à 1881, a été, avec le prolongement sud de la ligne 1 en 1983, la première ville de France à construire de nouveau une ligne de tramway. D'autres pays tels que l'Allemagne, la Suisse, les Pays Bas, les Pays Scandinaves, la Pologne, ont conservé leurs tramways en les modernisant (Varsovie a toujours possédé le réseau de tramways le plus important).

Renouveau du tramway.

La période 1950 – 1980 sera donc celle de la suprématie de l'autobus en tant que transport de surface. Toutefois, à partir des années 1970, les chocs pétroliers ainsi que les problèmes posés par la circulation et la pollution dans les grandes villes a amené les autorités à envisager de nouveau le tramway.



Tram de Strasbourg

C'est ainsi que le tramway a circulé de nouveau à Nantes en 1985 dans une version modernisée. Le succès rencontré a fait qu'il a été rapidement adopté par d'autres villes françaises : Grenoble en 1987 avec une version avec plancher bas sur les $\frac{3}{4}$ du véhicule (ce qui n'était pas le cas à Nantes), Paris en 1992 (ligne Saint-Denis – Bobigny), Rouen en 1994 (avec une partie en souterrain qui lui a donné le nom de « Métrobus »). A la fin de cette année 1994 Strasbourg mit en service sa première ligne de tramway (de Graffenstaden à Hautepierre) avec un véhicule à plancher bas intégral (une partie de la motorisation étant placée en toiture). A partir de 2000 les tramways réapparurent à Montpellier, Le Mans, Bordeaux, Nice, Valenciennes, Mulhouse, Reims, Angers, Orléans, Lyon, Le Havre, Brest, Dijon et Tours, la dernière ville en date étant Besançon en 2014.

Le tramway de Bordeaux fut le premier de la nouvelle

génération à reprendre la solution de l'alimentation par le sol (APS) en centre ville, afin d'éviter l'effet inesthétique des fils d'alimentation dans les quartiers historiques.



Tram APS de Reims

Le principe reprend un peu celui de Paris dans les années 1900 mais en l'améliorant : le rail d'alimentation (750 V) situé au milieu de la voie est divisé en sections de 8 m isolées les une des autres par des parties isolantes de 3 m. Chacune des sections conductrices n'est alimentée que lorsqu'elle est couverte par la rame, évitant ainsi tout danger de marcher sur des sections sous tension. Les nombreux problèmes techniques rencontrés à Bordeaux ont finalement été résolus, et ce système (alimentation par le sol en centre ville et par caténaire hors centre ville) a été reconduit avec succès à Reims, à Angers, à Tours et sur la 2eme ligne d'Orléans. Cas particulier de Nice : les caténaires sont interrompues lors de la traversée des Places Masséna et Garibaldi, les moteurs étant alimentés par une petite batterie durant ces courtes périodes.

Les tramways sur pneus.

Tous les tramways cités précédemment sont sur rails acier, les rails assurant le retour du courant (potentiel zéro). Trois villes se sont, elles, tournées vers le roulement sur pneus : Il s'agit de Caen, Nancy et Clermont-Ferrand. L'ancêtre du tram sur pneus serait un monorail expérimental qui aurait circulé en banlieue parisienne, du Raincy à Montfermeil, en 1868. Les roues à pneus ne pouvant assurer à elles seules le

guidage latéral, celui-ci doit être effectué par un rail de contact placé au milieu de la voie, et qui sert également au retour du courant puisqu'il n'y a plus les rails de roulement. Mais les véhicules utilisés dans ces trois villes ne sont pas identiques :

– A Caen et à Nancy, il s'agit de véhicules bi-modes, équipés à la fois d'un moteur électrique et d'un Diesel de secours. Ces véhicules peuvent ainsi sortir de leur voie si nécessaire, et rouler sur la chaussée comme des autobus. Ce sont des véhicules de type routier, et comportent un volant pour les parcours en régime non guidé. Toutefois les deux ne sont pas identiques : à Caen le tram est guidé sur tout le parcours, il y a donc toujours un rail de guidage servant au retour du courant, dont la prise se fait sur un câble unique par pantographe. A Nancy, au contraire, le guidage n'existe que sur une partie du parcours, le reste étant effectué en mode « trolleybus » roulant sur la chaussée normale. Dans ce cas le retour du courant ne pouvant se faire par le rail de guidage, la prise et le retour du courant se font par deux câbles et deux perches.

– A Clermont-Ferrand, il s'agit d'un véhicule ferroviaire (Translohr) fonctionnant en seul mode électrique. Il est guidé par rail central sur tout le parcours, ce rail assurant le retour du courant. Ce tram ne peut donc pas rouler hors piste. Paris exploite 2 lignes avec ce mode (lignes T5 et T6) mises en service en 2013 et 2014.



Tram sur pneus « Translohr » de Clermont-Ferrand

En principe, le choix du matériel sur pneus répond aux contraintes dues aux pentes rencontrées sur le parcours : celui-ci s'imposerait pour des pentes supérieures à 12 %. Toutefois, il est à noter qu'il existe des tramways sur rails capables, si l'effort de traction est réparti sur tous les essieux, d'accepter ces pentes : c'est le cas d'Electrico de Lisbonne, qui bien que vieux d'un siècle permet de monter les rues en pente du quartier de l'Alfama. Le choix du tramway sur pneus à Clermont-Ferrand répondait à de toutes autres considérations.

Alimentation électrique et motorisation.

En France et dans de nombreuses villes d'Europe, les tramways sont alimentés en courant continu. La tension, qui était de 600 V à l'origine, a ensuite été portée à 750 V. Du point de vue motorisation, celle des tramways de la première génération était assurée par des moteurs à courant continu, la variation de vitesse se faisant par changement de couplage (série ou série-parallèle) et par résistances en série avec l'induit, d'où une perte importante d'énergie. Dans les tramways de la seconde génération la variation de vitesse se fait à l'aide de convertisseurs électroniques. Au début (cas des premiers véhicules Alsthom de 1985), la traction se faisait encore par moteurs à courant continu, la variation de vitesse étant assurée par des hacheurs de courant agissant sur la tension d'alimentation des moteurs. Mais ce procédé a rapidement été remplacé par des moteurs asynchrones à cage, dont la variation de vitesse se fait par variation de la fréquence d'alimentation au moyen d'onduleurs de tension à IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Les convertisseurs étant réversibles, le freinage peut être assuré par récupération de l'énergie sur le réseau.

Le trolleybus.

Inventé au début du 20^{ème} siècle par l'allemand Siemens et le français Lombard Gérin, l'électrobus ou trolleybus a été expérimenté à Paris en 1921, puis s'est développé à partir de 1923 en Savoie, dans le Gard, en Algérie, à Lyon et à Marseille. Très en vogue dans les années 1950, il offre les avantages de la maniabilité de l'autobus, de la réduction de la pollution, et d'un coût d'installation inférieur à celui du tramway, même sur pneus. A Strasbourg, une première ligne de trolleybus a été mise en service en 1939 entre Roettig et Ostwald, et en 1947 en ont été équipées les lignes 10 et 15, remplacées par des autobus en 1961 et 1962.



Trolleybus
« Cristalis » de Lyon

D'autres villes ont aussi en ont aussi été équipées dès 1943 et après la guerre : Lyon, Marseille, Le Mans, Poitiers, Paris (lignes partant des Portes de Champerret et de Choisy), et surtout Limoges qui a été la seule ville française à les conserver après 1970. Actuellement, après les avoir supprimés dans les années 1960, Lyon a réimplanté plusieurs lignes de trolleybus modernisés, avec sites propres et véhicules articulés de grande capacité permettant de s'affranchir des déviations ou incidents urbains. De nombreuses autres villes dans le monde ont toujours des trolleybus : Lucerne, Salzbourg, Moscou, Santiago du Chili ...

Bien sur l'inconvénient du trolleybus est l'existence de « toiles d'araignées » de fils en centre ville. Des réflexions sont en cours pour l'utilisation de trolleybus sans fils. Une

solution est actuellement à l'essai afin de les éviter : le système WATT, dont nous allons parler dans la rubrique « solutions futures ».

Le Busway.

Un système hybride entre tramway et autobus a vu le jour en 1974 à Curitiba (Brésil) : le BHNS (Bus à Haut Niveau de Service). Il s'agit d'un autobus à moteur thermique, généralement articulé, circulant sur une voie propre comme un tramway, le rendant ainsi moins dépendant de la circulation urbaine. Les arrêts se font dans des stations avec quais comme pour un tramway.



Busway de Nantes

En 2004 un BHNS, le « BusWay » a été mis en service à Nantes (ligne 4). Mais la ville qui l'utilise le plus est Bogota (Colombie) dont le réseau comporte 9 lignes, certaines ayant 4 voies de circulation pour des omnibus et des express. Leur conduite est jusqu'ici manuelle. Toutefois un système de guidage magnétique au sol a été ces dernières années essayé à Douai (Philéas) ainsi qu'à Istanbul (Métrobüs). Mais jusqu'ici ce système n'a pas donné satisfaction dans ces deux villes, et la conduite demeure manuelle.

A Rouen, il existe également un ensemble de 3 lignes de BHNS traversant le centre ville dans le sens est-ouest, les « TEOR », équipées de véhicules Créalis (Irisbus) prévus pour fonctionner avec un système de guidage optique, ce dernier permettant l'accostage automatique le long du trottoir aux stations. L'avantage du BHNS est bien entendu un coût d'installation réduit par rapport à une ligne de tramway. Mais

sa capacité étant moins importante, il faut un plus grand nombre de véhicules pour assurer les mêmes performances. A noter que des versions électriques sont à l'étude

Développement du métro – Le métro léger.

Dans les très grandes villes, le métro s'est largement développé à partir des années 1960, avec en particulier la mise en service des métros sur pneus de Marseille en 1977 (entièrement sur pneus) et de Lyon en 1978.



Le « MAGGALY » de Lyon

Ce dernier a la particularité de posséder une ligne en partie à crémaillère (la ligne C de la Croix-Rousse, en raison de la pente atteignant 17 %), et une ligne entièrement automatisée (la ligne D appelée « Maggaly »). La ligne C est à roulement sur rails et alimentation par caténaire, tandis que les lignes A, B et D sont sur pneus avec alimentation par 3eme rail. En même se sont développés les métros dits « légers » ou VAL, avec des véhicules de dimensions réduites et des installations simplifiées, afin d'en réduire le coût d'installation. Ce système, déjà utilisé à l'étranger (Allemagne) a été mis en service à Lille en 1983, suivie de Toulouse, Paris (Orly-Val) ... et Rennes malgré une population ne dépassant pas 250000 habitants. Ces métros légers, équipés de pneus, fonctionnent de manière entièrement automatique.

Comme pour les tramways, il y a pour ces derniers deux types de motorisation. La première génération (VAL 206) comportait des moteurs à courant continu alimentés par hacheurs de courant. La seconde génération (VAL 208) est réalisée avec de moteurs synchrones à aimants permanents inversés (rotor extérieur) intégrés dans les roues, alimentés à fréquence variable par des onduleurs. Etant donné que le roulement se fait uniquement sur pneus (pas de rails de secours comme à Paris), l'arrivée et le retour du courant se font à l'aide de deux « barres de guidage » placées de chaque côté de la voie.

Le « Dockland Light Railway » de la banlieue Est de Londres, automatique mais sur rails, est assimilé à un métro léger.

Enfin, on appelle quelquefois « Prémétro » un ensemble de plusieurs lignes de tramway circulant sur une voie commune en général souterraine, constituant ainsi une déserte importante, pouvant le cas échéant être transformée en métro lourd : c'est le cas de Bruxelles avec la ligne reliant les gares nord et sud. Il existe aussi des prémétros dans d'autres villes : Anvers, Zurich, Vienne et Buenos-Aires.

Le Tram – train.

Entre le tramway et le train, s'est développée depuis quelques années une solution qui existait depuis longtemps sur les réseaux allemands (Hambourg, Francfort, Karlsruhe ...) : le tram-train. L'idée a été depuis longtemps de faire circuler des trains de banlieue sur les lignes de tramway, afin de réaliser une interconnexion entre ces deux modes, sur le modèle du RER pour le métro. Ainsi est réalisée une interconnexion sans rupture de charge, améliorant de ce fait les temps de transport et le confort des voyageurs. En France une 1ère ligne expérimentale a été créée en région parisienne à Bondy (ligne T4). Puis le premier véritable tram-train a été mis en service à Mulhouse en 2010, en remettant en circulation la ligne abandonnée de Mulhouse à Thann. La circulation des rames du tram-train sur les voies du tramway urbain a été

rendue possible car le tram de Mulhouse avait été récemment mis en service et conçu dans ce but. Un autre tram-train a été mis en service en 2013 à Lyon sur la ligne des Monts du Lyonnais.

Le dernier a été mis en service le 28 février 2014 sur la ligne Nantes-Châteaubriant, une ligne désaffectée depuis 1980.



Le TRAM-TRAIN de Nantes

Contrairement à Mulhouse, les trains ne pourront pas circuler sur les voies du tramway en ville, mais des voies contigües. En raison des interférences possibles entre les lignes d'alimentation (25000 V–50 Hz monophasé pour le train et 750 V continu pour le tramway), l'alimentation du tram-train se fait en 750 V continu en ville de Nantes et 25000 V alternatif en dehors de l'agglomération. Les rames sont donc bi-courant, les moteurs triphasés de traction étant alimentés à fréquence variable par un onduleur à partir du 750 V continu, et par l'intermédiaire d'un ensemble transfo + redresseur + onduleur à partir du 25000 V – 50 Hz. L'avantage de la technologie du tram-train est de concilier les avantages du tramway (fortes accélérations entre arrêts rapprochés en ville) et du train (vitesse de pointe atteignant 100 km/h hors agglomérations). Il y a lieu de noter que le tram-train impose deux modes d'exploitation et de conduite très différents, en campagne et en zone urbaine : dans ce dernier cas, l'absence de barrières lors des croisements de voies urbaines fait que la conduite se fait pratiquement « à vue ».

Bateaux urbains.

Il y a lieu d'évoquer rapidement ce mode de transport, utilisé depuis longtemps dans certaines villes, ce mode ayant l'avantage de réduire les embouteillages. Si la ville la plus célèbre pour ce mode de transport est Venise avec son « Vaporetto », d'autres villes l'ont utilisé, soit comme transport fluvial (Londres avec des navettes sur la Tamise), soit comme transport maritime (Oslo pour la déserte des îles du fjord, Istanbul pour les liaisons entre les deux rives du Bosphore ...).



Le BUS-DE-MER de la Rochelle

Si Paris a échoué dans sa tentative de remettre en route les bateaux-mouches sur la Seine, Nantes a eu plus de succès avec le « Navibus », bateau qui relie le centre ville au quartier de Trentemoult sur la rive opposée de la Loire, reprenant ainsi le service des « Roquios », bateaux à vapeur ayant assuré ce parcours entre 1887 et 1958. A La Rochelle circule le « Bus de Mer », joignant le Vieux Port et le Port des Minimes ; il s'agit d'un catamaran à propulsion électrique alimenté par l'énergie solaire. De même, à Lorient, le « Ar Vag Tredan » est également un catamaran électrique assurant la traversée du port ; mais sa particularité est d'être alimenté par des super-condensateurs, ceux-ci se rechargeant en 4 minutes lors des arrêts (l'autonomie est d'une heure). Nous allons voir que ce principe est à l'étude également pour des

véhicules routiers.

Solutions futures.

Enfin, pour parler de l'avenir, on peut dire que diverses solutions seraient envisagées :

– Utilisation d'un volant d'inertie afin de stocker l'énergie au freinage ou dans les descentes, et de la récupérer au démarrage ou pour passer des tronçons sans caténaires. (principe du Gyrobus utilisé en Belgique vers 1950). Mais il y a lieu d'utiliser 2 volants identiques tournant en sens opposé afin de limiter l'effet gyroscopique. Des essais avec un tram de ce type seraient en cours à Rotterdam.

Mais ce dispositif ne peut qu'être un mode auxiliaire. Plus originaux sont les systèmes suivants, permettant de s'affranchir des lignes d'alimentation en rechargeant rapidement les batteries :

– Le système allemand PRIMOVE de Bombardier : le courant d'alimentation circule dans un câble enterré dans le sol et alimente des stations de recharge également sous la chaussée; une bobine réceptrice installée sous le bus s'abaisse lors des arrêts et capte par induction le champ magnétique engendré et le transforme en courant qui alimente les moteurs de traction. L'avantage est de n'avoir aucun contact de frottement, ce qui réduit les frais de maintenance. Ce dispositif peut être couplé avec des super-condensateurs, permettant la récupération de l'énergie de freinage. Un véhicule de ce type, après essais en usine chez Bombardier, a été mis en service à Augsbourg (Allemagne) et devrait l'être prochainement à Berlin.

– Le système français WATT, qui utilise des super-condensateurs au carbone pour stocker plus d'énergie que dans les batteries traditionnelles (voir bus électrique déjà évoqué, WATT = Wireless Alternative for Trolley Technology).



Le WATTBUS de PVI

Il s'agit de véhicules électriques (que l'on ne peut pas appeler « trolleybus » vu qu'il n'y a pas de trolley), dont la recharge en énergie se fait durant chaque arrêt en ligne à l'aide de super-condensateurs à la fois dans le poste d'arrêt et dans l'autobus (voir également le bateau électrique de Lorient). A chaque arrêt ceux du véhicule se rechargent rapidement (10 à 15 secondes), à l'aide de ceux du poste d'arrêt, la recharge de ceux-ci se faisant plus lentement (le temps d'intervalle des bus, soit 3 à 4 minutes en période de pointe) à partir du réseau classique 220 V – 50 Hz. Un bras robotisé, situé sur le toit du bus, vient se connecter à un « totem » accumulateur d'énergie intégré au mobilier urbain. Cette technique est appelée « biberonnage », rappelant celle de la remise en pression des tramways Mékarski à air comprimé ! A noter que ces bus seraient aussi équipés d'une batterie rechargeable (autonomie 30 à 40 km) afin d'assurer des parcours plus longs qu'entre deux arrêts. Ce type de véhicule est en essais actuellement à Nice Aéroport.

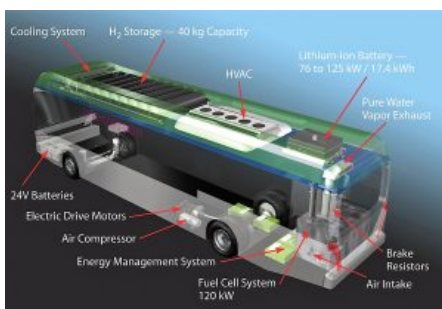
– Le système suisse TOSA de ABB / HESS, en démonstration à Genève depuis mai 2013.



Le « TOSA » de Genève

Ce concept permet à un véhicule de type trolleybus de s'affranchir d'une ligne aérienne grâce à la mise en place, toutes les 4 à 5 stations, d'un système de « biberonnage » par induction. Cela consiste à disposer dans une sous-station une armoire intégrée au mobilier urbain et surmontée d'un bras avançant sur la toiture du véhicule. Un système télescopique placé sur le toit du bus vient se caler sur le bras et déclenche le rechargement en quelques secondes. Ce système a été expérimenté en 2013 à Genève sur une navette Aéroport / Parc des Expos. Le réseau de cette ville envisage l'équipement d'une ligne d'autobus équipés de ce système.

Enfin, le « Citaro » de Daimler et le « Fuel Cell » de Van Hool sont des véhicules à propulsion électrique dans lesquels le courant est fourni par une pile à combustible, transformant l'hydrogène en courant électrique.



Schema Full Cell Van Hool



Bus Full-Cell Van Hool

Le principe est, en quelque sorte, l'inverse de l'électrolyse de l'eau : à l'aide de deux électrodes séparées par un électrolyte, l'hydrogène contenu dans des réservoirs placés sur le toit, et l'oxygène contenu dans l'air, produisent de l'eau sous forme de vapeur et génèrent un courant électrique aux bornes des électrodes. Des autobus de ce type sont déjà en exploitation dans plusieurs villes, en particulier Hambourg et Oslo. Enfin, à Nantes, le bateau électrique « La Mouette » traversant l'Erdre entre les quartiers des Facultés et de Port-Boyer est en cours de tests avec pile à hydrogène.

Auteur: Raymond HOULLIER, Ingénieur ENSAIS