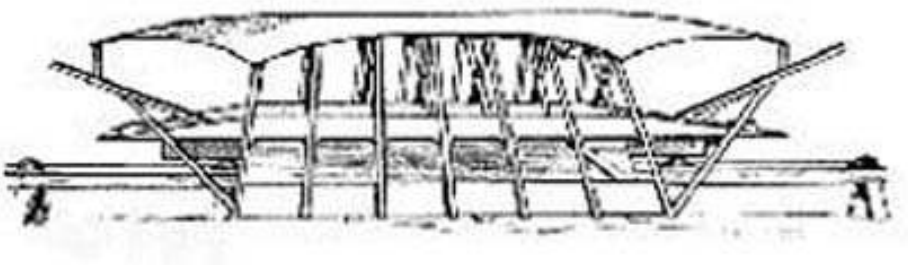
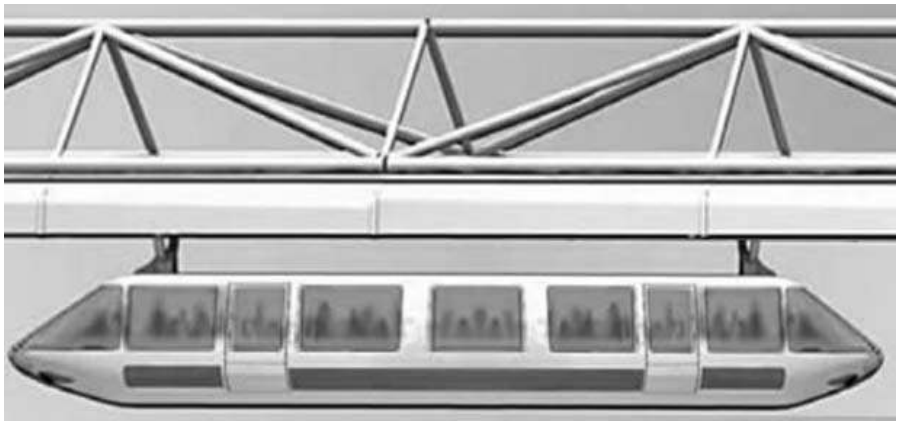
Les chemins de fer monorails





P: Oehrli

Le Rail Lausanne

2013

L'histoire des chemins de fer monorails

Pierre Oehrli

Dans une **première** période (1821-1900), le développement du monorail est rapide parce que l'on voit dans ce système un moyen simple, efficace et bon marché d'assurer le transport de marchandises et de voyageurs. La facilité de l'installer dans des régions montagneuses constitue un autre point favorable. La difficulté de construire des routes dans des régions escarpées ou de circuler dans les villes sur des rues étroites surchargées par la traction hippomobile ont aussi été déterminantes.

Durant la **seconde** période (1901-1945), plusieurs monorails de divers types sont construits sans être exploités commercialement.

Durant les **troisième** (1945-2000) et **quatrième** périodes (21ème siècle), l'évolution est rapide parce que l'on cherche à mettre en site propre un moyen rapide, automatisé et à grande capacité afin d'éviter la congestion des avenues citadines ou des autoroutes. Le présent article est un condensé de l'évolution des monorails. Elle est présentée ci-dessous en respectant la chronologie et en y ajoutant quelques événements marquants liés aux transports publics.

Première période (-> 1900)

1810: Fondation de la compagnie **Ludwig von Roll** & Cie qui devient la Société des usines Louis von Roll en 1823, puis von Roll SA en 1962 et von Roll Holding en 1995. A cette époque, l'entreprise métallurgique est la plus importante de Suisse. Von Roll jouera un rôle important au niveau des transports, y compris des monorails.
1815: **Joseph von Baader** (1763-1835) obtient un brevet pour la construction de voies ferrées avec un ou deux rails dans le but d'obtenir un bon guidage et de diminuer la friction.
1819: L'industriel **Friedrich Harkort** (1893-1880) construit pour ses aciéries d'Eberfeld un monorail de type Palmer (voir page suivante). Ce prototype devait promouvoir la construction d'un monorail de Barmen à Elberfeld, mais la population s'y oppose. La ligne sera finalement réalisée par la Schwebebahn Wuppertal.
1820: **Ivan Elmanov** construit dans le village de Myachkovo (Moscou) un monorail hippomobile. Cette voie supportée par des pieux contient les roues permettant aux wagons de glisser. Elmanov est considéré comme l'ancêtre des monorails. Manquant d'argent, il arrête ses recherches (fig. 1).

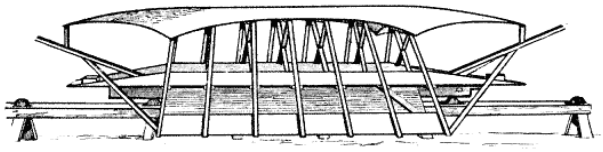


Fig. 1

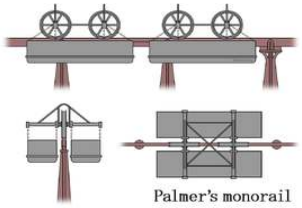


Fig. 2

1824: **Henry Robinson Palmer** (1795-1844), ingénieur de la Compagnie des docks de Londres, obtient un brevet pour un monorail suspendu pour marchandises (fig. 2) reliant la base de ravitaillement de la marine et la Tamise. En 1825, il construit un monorail tracté par des chevaux à Cheshunt (Hertfordshire) pour le transport de briques (mais aussi pour des passagers, une première mondiale) (fig. 3). Des roues à double boudin roulent sur une barre métallique placée sur une poutre en bois. Il est considéré comme l'ancêtre des monorails de Lartigue et du Wuppertal. Une autre ligne projetée de Barmen à Eberfeld (D) n'a jamais été construite. Des rails stabilisateurs furent ajoutés par la suite, transformant le monorail en un système à trois rails.

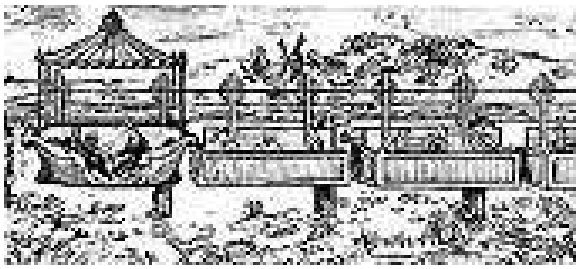


Fig. 3

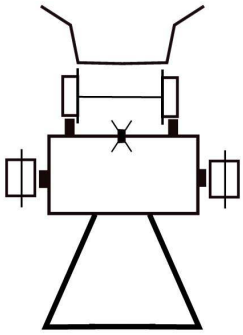


Fig. 4

1829: **Maxwell Dick of Irvine** décrit et obtient un brevet pour son monorail « utopique » à réaliser par tronçons de voie de 8 km et s'appuyant sur des piliers de pierre. La motorisation peut être assurée par une machine à vapeur, une roue à aubes, voire des humains (ouvriers, voyageurs). Le câble peut être sans fin ou s'enrouler sur un tambour. Jusqu'à 6 wagons chargés de 500 kg pourraient être déplacés. Les wagons roulent sur 4 roues et possèdent 4 autres roues inférieures et cylindriques assurant le positionnement (fig. 4).

1830: Royal Panarmonium Gardens était un grand parc avec jardin, 2 théâtres, etc. à Londres (London Survey). Un monorail y circulait comme attraction. Il fut démoli en 1832 (fig. 5).

1836: Le prince **Beloselsky-Belozersky** propose un monorail posé sur des piliers et glissant sur deux rangées de roues.

Fig. 5

1872: **Lyarsky** présente son monorail à l'exposition polytechnique de Moscou et **Alexei Khluody** construit un monorail pour le transport de bois (1874).
1868: **Jean Larmanjat** (1826-?) construit le premier monorail entre Le Raincy et Montfermeil (près de Paris) (fig. 6). Son fonctionnement est désastreux. Son idée fut considérée (mais pas adoptée) pour le LEB . Locomotive Larmanjat 1-2-1 (fig. 7).

Fig. 6

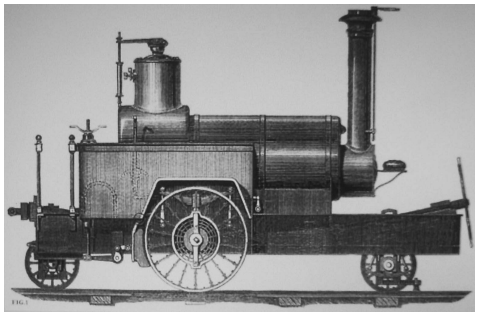


Fig. 7

1868: **William Thorold** (1798-1878) présente un système basé sur un rail guidant, les roues motrices s'appuyant sur la route. Ce principe sera repris plus tard par W.J. Ewing pour la construction d'un monorail aux Indes.
1869: **J.L. Hadden** construit en Syrie un monorail pour remplacer les mulets « militarisés », après avoir démontré que son système (proche du système Palmer) est de construction rapide, facile et surtout bon marché. Des paniers sont disposés de chaque côté du rail et le tout est tracté par une locomotive à deux chaudières verticales. Cette même année, **Joseph Stringfellow** décrit un système semblable de monorail pouvant être utilisé comme chemin de fer bon marché à but militaire. Springfellow serait en fait, le véritable inventeur du système utilisé par Hadden.
1872: A l'exposition de Lyon, **Albert Duchamp** présente sur une ligne de 1 km son monorail tracté par câble. La voie est formée d'un rail supérieur et de deux rails inférieurs alignés verticalement. C'est une réussite.
1876: Dans le cadre de l'exposition internationale de Philadelphie, commémorant le centenaire de la déclaration de l'indépendance des États-Unis (signée dans cette ville le 4 juillet 1776), le Général **Le-Roy Stone** (1835-1905) présente un monorail à deux étages, à cheval sur trois rails (2 roues portantes, 4 roues stabilisatrices) et mû par

un moteur à vapeur rotatif (fig. 8).
1876: Entre Sonoma et Pablo Bay (port marchand en Californie du nord) un monorail circulant sur des voies en bois devait être construit sur une distance de 11 km. Seuls 4,5 km entre Norfolk et Sonoma sont construits. La locomotive à vapeur roule sur un rail supérieur et est stabilisée par des roues latérales inférieures, la voie ayant un profil en " I ". Après un an d'exploitation, la compagnie fait faillite. Son promoteur, **Joseph S. Kohn** propose alors de construire un monorail du type Lartigue sur Market Street à San Francisco, mais ce projet ne fut jamais réalisé (fig. 9).

Fig. 8

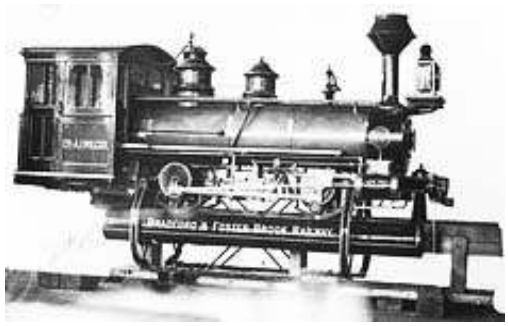


Fig. 9

1878: A l'image du monorail de Philadelphie, **Roy Stone** propose de construire un monorail entre Bradford (Pennsylvanie), ville au développement rapide grâce au pétrole, et Gilmore. C'est probablement le premier monorail des USA de type

Fig. 10

Fig. 11

Lartigue. Le tracé mesure 8 km. Le moteur rotatif étant faible, une nouvelle locomotive à pistons est mise en service un an plus tard. Alors qu'elle circule à vive allure (48 km/h), la chaudière explose et le convoi tombe dans le ravin faisant quelques morts. La ligne est fermée un an plus tard (fig. 10). C'était le "Bradford's Old Peg leg".
1880: Se basant probablement sur le système de Hadden, **Charles Lartigue** (1834-1907) construit en Algérie le premier monorail à vapeur fonctionnel sur une distance de 90 km pour assurer le transport de l'alfa. La construction permet de circonvenir le

problème causé par les dunes de sable. Un rail placé au sommet de traverses triangulaires porte le train et permet la traction, alors que deux rails latéraux assurent la stabilité (fig. 11 et 24 (voir plus loin)). Le monorail le plus connu de type Lartigue est celui menant de Listowel à Ballybunion (Irlande) (14.5 km) qui fonctionna de 1888 à 1924 (arrêt dû à une guerre civile). En 1886, une ligne de démonstration est construite à Londres avec une locomotive de type Mallet à deux chaudières. Objectif : la construction d'un réseau de monorails rayonnant à partir de Brooklyn (New York). En France, la ligne Feurs-Panissières (région de Lyon) (1895) est un fiasco à cause de la légèreté de la construction de la voie. La traction était électrique. La dernière construction (1924) de type Lartigue est une ligne reliant Crystal Hills (mine de magnésium) à Trona au nord de Los Angeles (cf plus bas fig. 41 et 42).

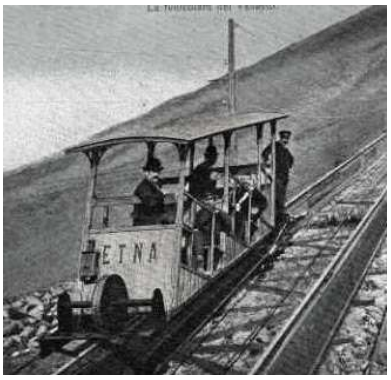


Fig. 12

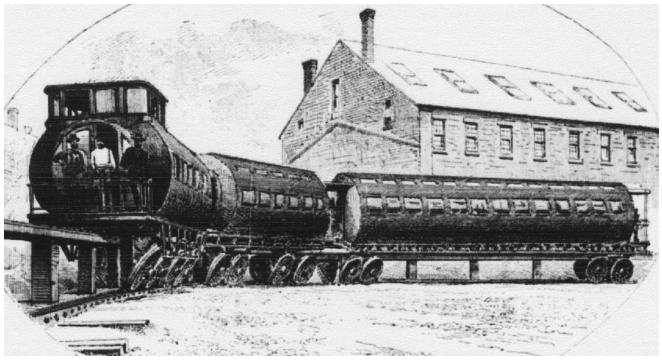


Fig. 13

1870 : **Ernest Emanuel Oblieght** (Hongrie) confie à Galanti, Sigl et Wolfart le projet de construire un système permettant d'atteindre facilement le sommet du Vésuve. La réalisation en incombe à Emilio Olivieri de Milan. Le funiculaire monorail inauguré le 6 juin 1880 mesure 830 m de long, possède un dénivelé de 390 m et une inclinaison de 45 à 63%. Deux roues verticales assurent le roulement sur un caisson, 4 roues inférieures obliques assurent la stabilité (fig. 12).

1884: La première application électrique du monorail de Lartigue est présentée au concours agricole de Paris et à l'Exposition industrielle de Paris. Une dynamo Siemens actionne une roue motrice à l'aide d'une transmission par cordes sans fin. La locomotive pèse 260 kg et tracte une charge d'une tonne à la vitesse de 15 km/h.

Lartigue et Behr conçoivent un véhicule électrique reposant sur deux bogies à 2 roues. Chaque roue comporte un disque tournant entre deux systèmes inducteurs fixés aux boites à huile et munis d'un commutateur.

À la même période, une ligne expérimentale de monorail électrique à accumulateurs est construite à Waterport (New-York).

1886: **Joe Vincent Meigs** expérimente un monorail à vapeur (fig. 13) avec une locomotive et deux wagons près de Boston (East Cambridge) sur un trajet de 500 m avec des courbes d'un rayon de 15 m. Il fonctionne jusqu'en 1894. Le roulement et l'inscription dans les courbes sont favorables bien que les courbes soient formées

d'une succession de segments droits. Le système comprend même des aiguillages. Les bogies comprennent deux roues supérieures horizontales assurant la stabilité, la propulsion et le freinage et 4 roues inférieures à gorge, obliques et portantes (fig. 14). Un système hydraulique actionné par le conducteur permet de contrôler la pression des roues horizontales, appuyées sur le rail et assurant le freinage. La ligne est formée de deux fois deux rails rapprochés les uns des autres, formant ainsi une voie de guidage très étroite. La ligne ne fut jamais prolongée. Ce système a été présenté à la population de Paris en 1888 qui lui a préféré le métropolitain en tunnel.

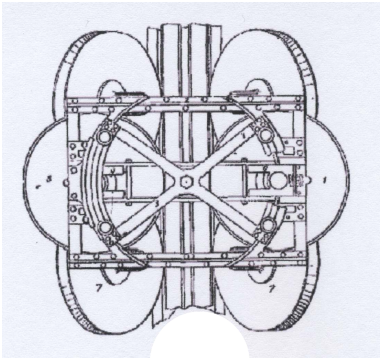


Fig. 14

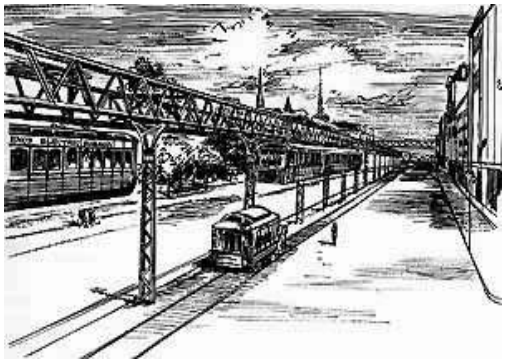


Fig. 15

1886: Le **Enos Electric Railway** démontré à Greenville (New Jersey) est le premier monorail suspendu au monde (fig. 15). **Leo Daft** (1843-1922) invente la prise de courant par les roues circulant dans les rails. Un système ingénieux permet d'utiliser les roues comme frein magnétique. Aucune autre construction ne suivit. Son système fait grande sensation et influence probablement l'ingénieur Eugen Langen pour la construction de la Schwebebahn du Wuppertal.

1888: **Eben Moody Boynton** fait la démonstration de son monorail (Boynton Railroad Monocycle) sur une ligne de 2.8 km entre Gravesen et Coney Island (New York) sur le tracé d'un chemin de fer désaffecté à voie normale. Pendant 2 à 3 saisons, le train composé de 3 voitures fait 50 fois par jour le trajet de 3 minutes à 90 km/h. La locomotive « the Flying Billboard » (le panneau d'affichage volant) (fig. 16, 17 et 18) pèse 4 tonnes et tracte des wagons étroits à deux étages.

Trois locomotives sont construites. « Cycle N=1 » avec une seule roue motrice à double boudin d'un diamètre de 2,4 m. Pesant 20 tonnes, elle est rapidement remplacée par « Cycle N=2 » qui ne pèse que 9 tonnes, mais avec une roue de 2 m de diamètre. Les wagons à deux étages se composent de 9 compartiments de 1,30 m de large et 1,65 m de long. Un système ingénieux permet au serre-frein de bloquer l'ouverture et la fermeture des portes. Ces voitures roulent sur 3 roues à double

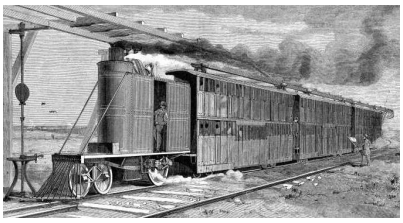


Fig. 16

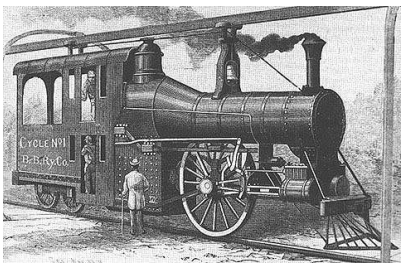


Fig. 17

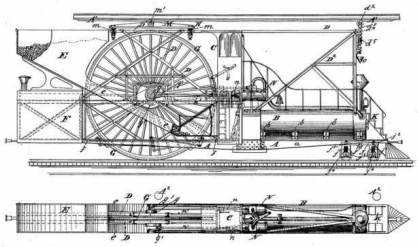


Fig. 18

boudin d'un diamètre de 95 cm. Une troisième locomotive à deux roues motrices est encore construite. Les déraillements sont fréquents. Le convoi circule entre deux rails, l'inférieur supportant le poids, le supérieur stabilisant le convoi.

1889: Le terme « houille blanche » est proposé par **Aristide Bergès** (1833-1904), papetier et ingénieur hydraulique français, lors de l'Exposition universelle de Paris de 1889.

1891: **John W. Valley** est l'inventeur d'un monorail utilisé pour l'exploitation des forêts. La voie de roulement supportant un câble et ses supports sont en bois. Ce monorail assura l'acheminement de troncs et caisses, le tout tracté par des chevaux (fig. 19).

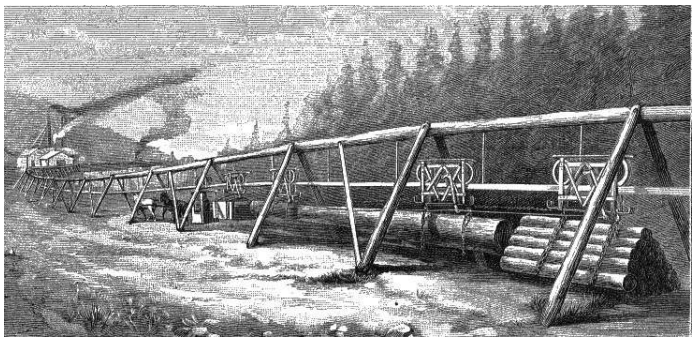
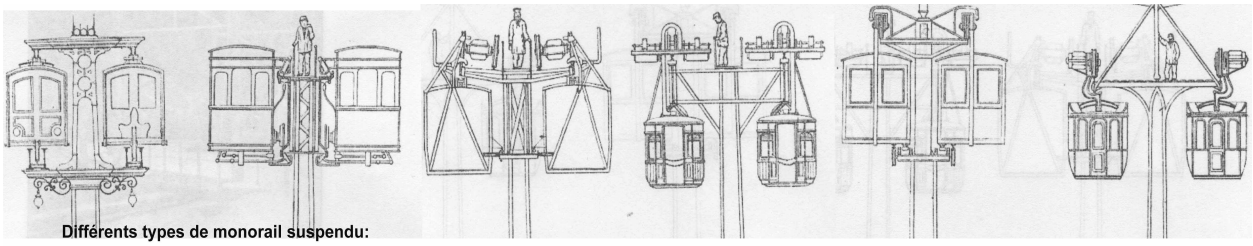


Fig. 19

1892: **Jose Ramon Villalon**, futur grand politicien de Cuba, construit à Long Island le "Boynton Bicycles Railroad" à traction vapeur. Il comprend un rail porteur au sol et un



Différents types de monorail suspendu:

Beyer Cook Dietrich Enos Perlay-Hale Langen

Fig. 20a Fig. 20b Fig. 20c

Fig. 20

rail supérieur pour assurer l'équilibre. Il ne fonctionna que pendant deux ans.
1892: **Lucien F.Cook** construit une maquette de monorail électrique (fig. 20 a). Les véhicules s'appuient latéralement sur deux rails placés sur les deux côtés des pylônes. Les autorités de Seattle acceptent de financer le projet reliant Tacoma à Elliot Bay. Mais l'odeur d'un putois mort dans le premier pylône fait capoter le projet. La figure 20 montre divers types de monorail pour lesquels aucun descriptif n'a été trouvé sauf ceux d'Enos et Langen (fig. 20b et 20c).
1892: **Konrad Doppelmayr** (Autriche) fonde son entreprise de construction de moyens de transport. De son côté, **Karl Garaventa** construit en 1928 au Rigi un petit funiculaire pour le transport de marchandises. Ses fils fondent en 1957 la société Karl Garaventa's Söhne (Gwatt/Thun). En 1996, Doppelmayr rachète von Roll Seilbahnen AG. et, en 2001, Garaventa rachète CWA Constructions SA (Olten), entreprise fondée en 1939. Les sociétés Doppelmayr et Garaventa fusionnent en 2002 et deviennent leader mondial dans la construction de téléphériques, funiculaires, etc.
1894: **Frederick W. Dunton** (1851-1931) assiste aux démonstrations d'E.M. Boynton. Très intéressé, il fonde la « New York & Brooklyn Suburban Investissement Company » et construit à Pachogue (Long Island / New York) un monorail comportant deux rails superposés distants d'environ 5 m (rail inférieur pour le roulement avec une roue à double boudin, rail supérieur pour la stabilité). Sur cette ligne expérimentale d'environ 800 m circule un seul véhicule électrique roulant à 90 km/h et pouvant accueillir 50 passagers, la « Rocket » (fig. 21). Une centrale électrique est construite qui fournit le courant au convoi grâce à un conducteur associé au rail supérieur. La ligne est prolongée de 3 km jusqu'à Bellport, mais un prolongement ultérieur de 27 km échoue à cause de problèmes d'expropriation. L'exploitation stoppe peu après.

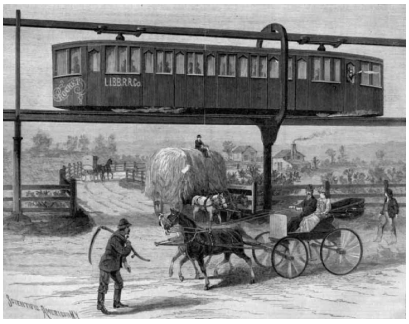


Fig. 21

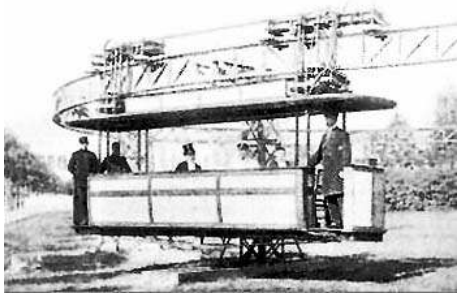


Fig. 22

1897: **Ippolit Romanov** présente un monorail électrique à la Société technologique de Russie. L'impératrice Maria Fedorovna (1847-1928), épouse du tsar Alexandre III lui demande de construire un monorail à Gatchina sur une distance de 200 m. Les premiers passagers prennent place dès 1900. Vitesse 15 km/h (fig. 22).
1897: Lors de l'Exposition internationale de Bruxelles, **F.B. Behr** (1842-1927) construit une ligne expérimentale (longueur 4871 m, rayon minimum de 500 m). Caractéristiques de la voiture : 17,68 m de long, 3.33 m de large, deux bogies moteurs

à 4 roues, capacité de 100 personnes et vitesse de 110 km/h. La voie est de type Lartigue avec un rail à double champignon supérieur et deux rails-guides fixés de chaque côté des chevalets montés tous les mètres. Les démonstrations ont lieu devant les autorités belges, françaises et russes. Ce succès encourage Behr à proposer au gouvernement anglais la construction d'une ligne de monorail de Manchester à Liverpool devant être terminée en 1906 (longueur : 55 km, rampe max. de 4%). L'idée était de déplacer le trafic des voyageurs sur les monorails circulant parallèlement aux lignes de chemins de fer avec les avantages suivants : pas de déraillement, pas d'accident.

1898 : Le chemin de fer à ballon de Hochstauffen près de Salzbourg fonctionne. Le ballon propulse un chariot monorail fixé à un rail en T pour la montée. Pour redescendre, il suffit de remplir le réservoir d'eau du chariot (fig. 23).

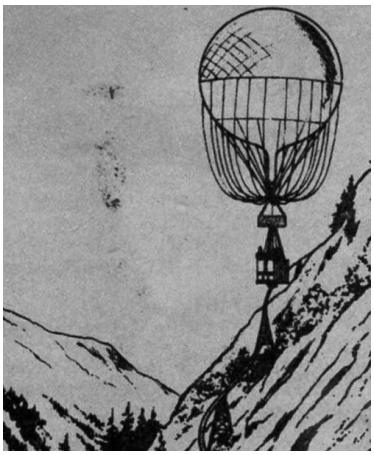


Fig. 23

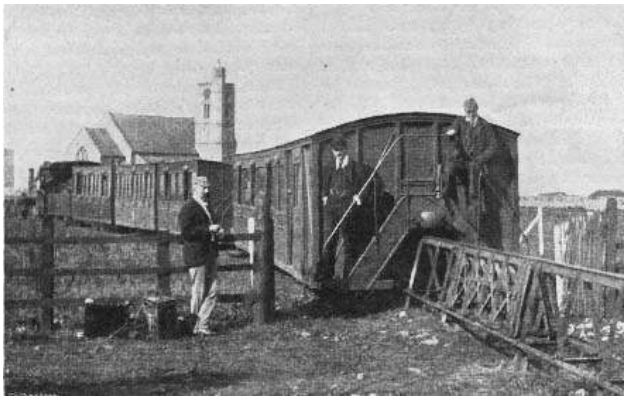
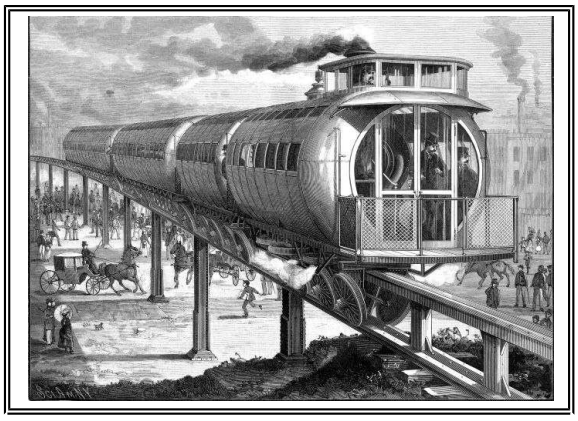


Fig. 24



Le monorail de Meigs

2ème période (1900 - 1945)

1900: Un trottoir roulant de 3,5 km, installé sur un viaduc à 7 m au dessus du sol (fig. 25) et conçu par les ingénieurs américains **Schmidt** et **Silsbee** est la grande attraction de l'Exposition universelle de Paris. Ces derniers l'avaient mis au point à l'occasion de celle de Chicago de 1893. L'usager devait emprunter deux tapis-roulants de vitesse croissante pour y accéder. Le chemin de fer Decauville, inventé en 1875 par Paul Decauville (1846-1922) pour déplacer les tonnes de betteraves sur son domaine, suivait le même parcours en sens inverse.

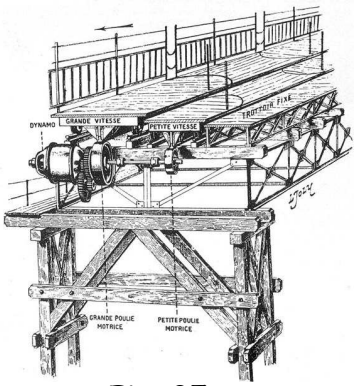


Fig. 25

1901: Ouverture de la Wuppertaler Schwebebahn, construite par **Eugen Langen** (1833-1895). Ce monorail (fig. 26) suspendu circule sur une distance de 13.3 km. La figure 27 présente un de ses bogies.

D'autres monorails du même type se trouvent à Dresde et à Memphis.

Le monorail de Dresde (fig. 28) est inauguré en 1901. C'est en fait un funiculaire suspendu d'une longueur de 274 m, 2 cabines de 40 places, vitesse 2,5 m/sec, inclinaison 392‰.

Fig. 26

Fig. 27

Celui de Memphis (fig. 29), ouvert en 1982, relie le centre de la ville à la Mud Island sur une longueur de 518 m, 2 cabines de 180 places, 11,3 km/h.

Fig. 28

Fig. 29

Et en 2002, inauguration par Siemens du H-Bahn (H = hängend) appelé Sky Train à Düsseldorf (fig. 30) sur une longueur de 2.5 km, ainsi qu'un autre à Dortmund (1984) sur 1,05 km.

Fig. 30

Fig. 31

1904: L'ingénieur **Koshkin,** associé à **Romanov,** élabore le projet d'un monorail pour relier St Petersburg à Moscou à la vitesse de 200 km/h. Bien qu'approuvé par le gouvernement, le projet n'est pas réalisé par manque de financement. Un même type de monorail devait relier Moscou à Nijni-Novgorod.

1907: **W.J. Ewing** (1830-?) reprend le système de monorail imaginé par **William Torold** (1798-1878). Principe : guidage par un rail unique et roues motrices roulant sur une route. Ewing construit deux lignes aux Indes, dont seuls 15 km de la Kundala Valley Railway sont réalisés. L'autre monorail tracté par des taureaux est exploité de 1902 à 1908. Celui de la Patiala State Monorail Trainways (Inde) est exploité de 1907 à 1927 sur environ 15 km (fig. 31).

1908: **Elfric Wells Chalmers Kearney** (1881-1966) fonde le « Kearney High-Speed Tube Railway Company Ltd » dont le projet est la construction de deux lignes de métro souterrain reliant Cricklewood et le Strand Crystal Palace. Ce système ressemble à celui de Boynton (rail inférieur unique et rail supérieur assurant la stabilité). Le convoi devait atteindre 90 km/h dans un tunnel formé de creux et

bosses sur lesquelles les stations sont aménagées afin d'économiser l'énergie (principe des montagnes russes). Il ne fut jamais construit (fig. 32).

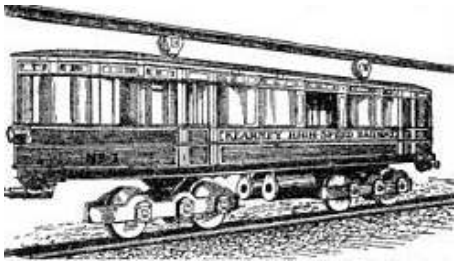


Fig. 32

Fig. 33

1909: **Louis Philip Brennan** (1852-1932) (UK) obtient le brevet pour un gyro-monorail à but militaire n'utilisant qu'un seul rail. Les essais sont réalisés en 1909. Les deux prototypes atteignent la vitesse de 35 km/h. Caractéristiques : véhicule de 22 t. capable de transporter 10 tonnes ou 50 passagers, moteur à essence sans émanation de fumée (camouflage !) et à transmission électrique (fig. 33). Grâce à ses deux gyroscopes tournant en sens contraire, le véhicule se tient en équilibre même si tous les passagers sont placés du même côté. Projet sans lendemain, la crainte d'une panne des gyroscopes étant trop forte.
1909: **August Scherl** (1849-1921) présente dans les jardins du zoo de Berlin son prototype de gyro-monorail électrique pour 6 personnes dont le principe est partiellement emprunté à Brennan (fig. 34).
1909: **Petr Petrovich Shklovsky** (1871-1957) construit une maquette d'un gyrocar avec un seul gyroscope qu'il présente à Londres (1909). L'idée est reprise en 1922 par

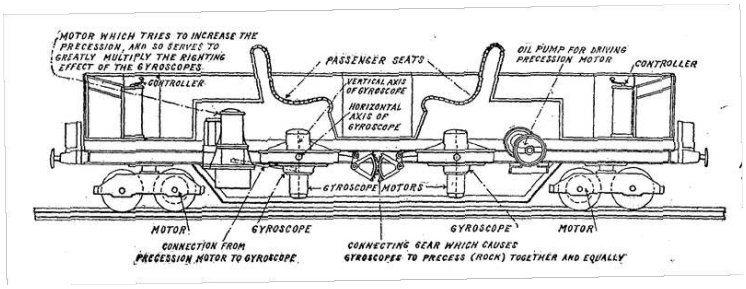


Fig. 34

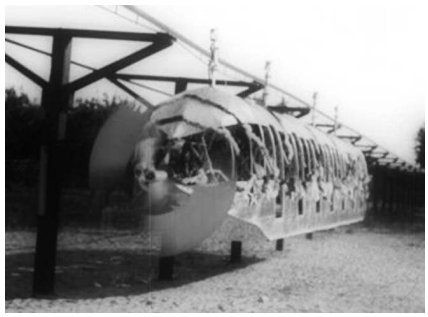


Fig. 35

les Soviets qui projettent de construire une ligne entre Leningrad et Tsarskoïe Selo sur 15 km, connue pour ses palais de Catherine et d'Alexandre (saccagés et incendiés par les Allemands, aujourd'hui reconstruits). 1921: Il commence la construction d'un monorail gyroscopique consistant en une moto tirant un wagon avec 50 sièges et qui devait atteindre la vitesse de 120 km/h. Des 32 km projetés, seuls 12 km sont construits.

1910 : **Joseph Fawlces** expérimente son monorail, l'Aerial Swallow, stabilisé par un gyroscope et propulsé par une hélice dans la région de Los Angeles sur un trajet de 280 m (fig. 35).
1910: En 1903 déjà, **Howard Hansel Tunis** (1878-1942) est cité dans les grands journaux new-yorkais comme le futur constructeur d'une ligne de monorail reliant Baltimore à Washington (fig. 36). La ligne à traction hippomobile Pelham Park & City Island Railroad est remplacée entre 1910 et 1914 par un monorail sur une longueur de 2.5 km, entre Barton Station et Hartford. Après la démonstration de ce monorail pendant l'exposition de 1907 de Jamestown (Virginie), une ligne new-yorkaise est construite. Le rail inférieur porte le véhicule, le rail supérieur assure la stabilité et le dévers dans les courbes. Il peut atteindre 96 km/h. Lors de l'inauguration, pourtant, le véhicule « Flying Lady », circulant trop lentement dans une courbe, bascule avec ses 100 passagers. Le service reprend quelques mois plus tard, mais la compagnie fait faillite en 1914. Par la suite, la ligne est transformée en tramway.
1910: Un autre monorail inventé par Howard H. Tunis (1 rail de roulement, deux supérieurs pour la stabilité) circule dans le Bronx (New York), mais un déraillement désastreux sonne son glas la même année (fig. 37).

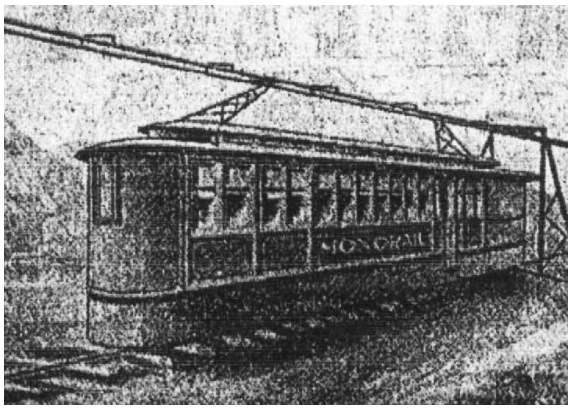


Fig. 36

Fig. 37

Le début du 20ème siècle voit également les premiers travaux dans le domaine des trains à sustentation et propulsion magnétique. Un chapitre entier leur est consacré plus bas. **Robert H.Goddard** et **Emile Bachelet** imaginent la technologie de la sustentation magnétique. 1907: **Alfred Zedekiah** demande un brevet pour la propulsion magnétique des chemins de fer. 1930: **Hermann Kemper** (1892-1977) perfectionne en théorie le moteur linéaire. 1950: **Eric Laithwaite** (1921-1927) est l'inventeur de la sustentation magnétique testée sur l'Aérotrain. Vu son prix élevé, ces expériences sont interrompues au profit du TGV. 1966: **James Powell** et **Gordon Dandy** obtiennent le premier brevet pour le Maglev. 1968: **James Powell** perfectionne la sustentation magnétique par aimants et dessine le prototype d'un chemin de fer magnétique.

1911: **William H. Boyes** présente à Seattle (Washington) son prototype dont la voie est en bois. Pour cause de manque d'argent, le projet est abandonné (fig. 38).
1912: Le monorail du Sénat (Washington) relie le Russell Senate Office Building (construit en 1908) au Capitole (fig. 39). Dans un couloir préexistant de 800 m, dans lequel circulaient des Studebaker électriques, un monorail type Boynton (un rail inférieur, un rail supérieur) fonctionne sans ennui jusqu'en 1961. Le wagon transportait 18 députés à la vitesse de 20 km/h.
1914: Lors de l'Exposition internationale de Gènes de 1914, un monorail de type Alweg est en service. Composé de 4 wagons et d'une locomotive électrique placée au milieu, il fonctionne encore quelques années après l'exposition avant d'être démoli (fig. 40).

Fig. 38

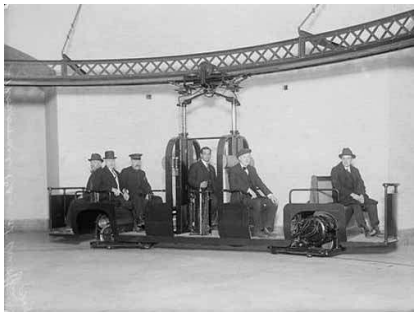


Fig. 39

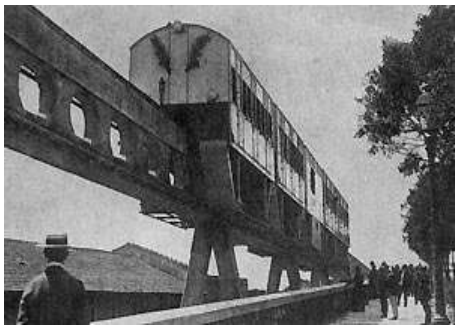


Fig. 40

1924: Le « Trona Magnesium Monorail », de type Lartigue, transporte du magnésium extrait des mines de Crystal Hills (à l'ouest de la Death Valley) à proximité de Trona (Californie). Tracé de 45 km. 8 locomotives (moteur à benzine), vitesse maximale 50 km/h. Deux ans plus tard, d'autres moyens de transport scellent son sort (fig. 41 et 42).
1929: Le « Bennie Railplane », mû par des hélices, est présenté par son constructeur **Georg Bennie** (1891-1957) sur une ligne de 120 m près de Glasgow. Il atteint la vitesse de 160 km/h. On prévoyait également de faire circuler ces véhicules sur une voie normale. Le projet était de construire une ligne à grande vitesse entre Londres et Paris, mais la crise financière y met fin (fig. 43).
1934: **Raymond C. Buchardt**, ingénieur chez Telefunken, propose un gyro-monorail futuriste aérodynamique propulsé par deux hélices et circulant sur un rail unique à des vitesses de 300 km/h, avec un gyroscope pour le maintenir en équilibre. Les signaux sont transmis par radio car illisibles à cette vitesse. Lors de démonstrations, la force centrifuge en fin de courbe cause la chute du convoi (fig. 44).
1934: **M.I.Yarmanchuk** (URSS) dessine le prototype d'un monorail révolutionnaire circulant sur une piste à section arrondie sur laquelle roulent deux pneus de diamètre 4 m par wagon. Il est prévu de construire une ligne de 45 km si les essais s'avèrent concluants (fig. 45).

Fig. 41

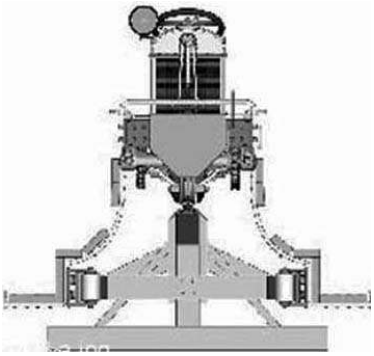


Fig. 42

1934: Dans le but de transporter les minerais extraits du Turkestan, l'URSS projette de construire 3 lignes totalisant 500 km de monorails diesel-électriques jumeaux (un véhicule de chaque côté de la voie de guidage) et amphibies (capables de

Fig. 43

Fig. 44

traverser les fleuves comme des bateaux). Vitesse projetée : 250 km/h. La ligne est constituée d'un rail supérieur et d'un rail inférieur contre lequel viennent s'appuyer des roues horizontales. Sur l'eau, le monorail quitte le rail supérieur (fig. 46).

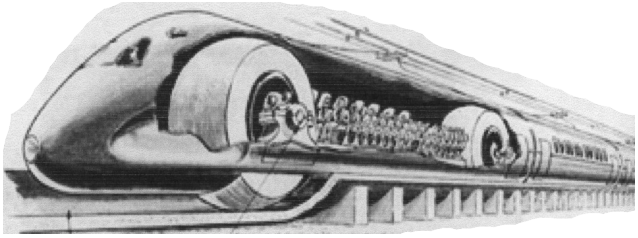


Fig. 45

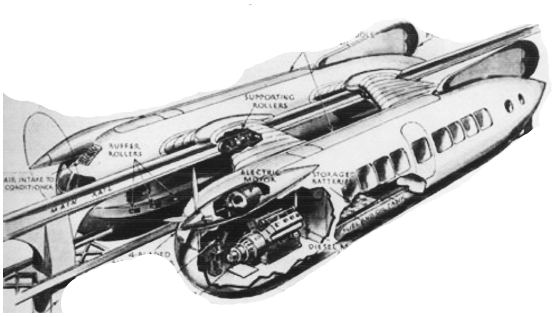


Fig. 46

1933: Un ingénieur français invente un monorail suspendu. Les cabines aérodynamiques mues par une hélice circulent le long d'un câble assurant aussi l'alimentation électrique. Vitesse projetée : 230 km /h (fig. 47).

1943: **Willy Habegger** (1918-2002) ouvre son atelier en 1943 après des apprentissages de maréchal-ferrant et de serrurier. Dans son entreprise sont construits les premiers téléphériques pour marchandises, puis pour passagers, et il devient un pionnier dans le domaine des moyens de transports pour expositions (Télécanapé et Monorail de l'Expo 64). La société a construit plus de 500 téléphériques, télésièges, télécabines et téléskis. Pour cause de manque de liquidités, elle est vendue à von Roll puis à Waagner-Birò (entreprise de construction métallique de Vienne) en 1984. Plus tard, Habegger rachète à la Banque cantonale bernoise la division des élévateurs. Son entreprise prend alors le nom de Habegger Maschinenfabrik AG.

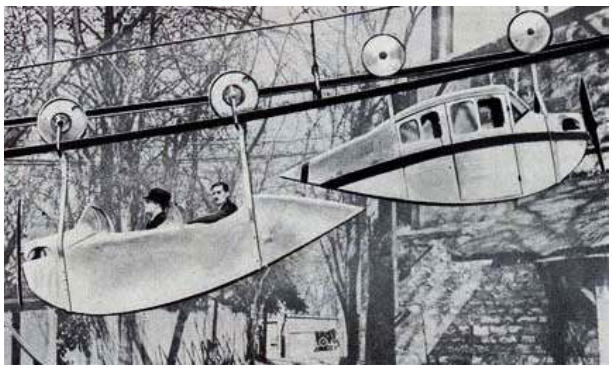
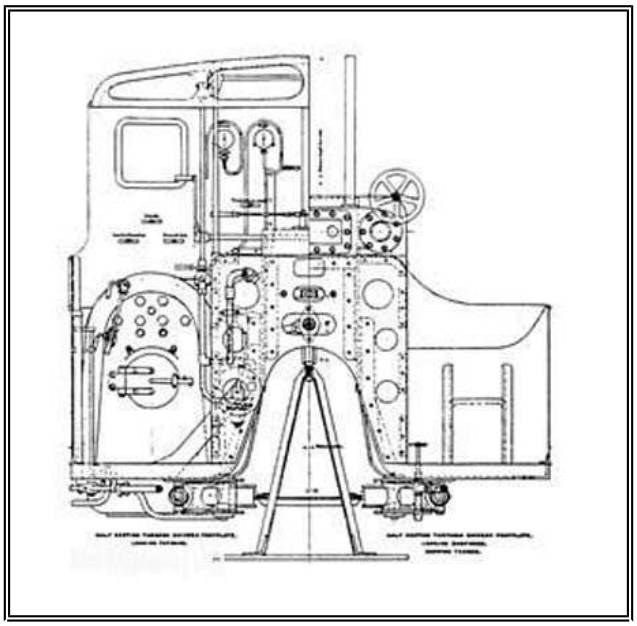


Fig. 47



Le monorail de Lartigue

3ème période (de 1945 à 2000)

1947: **Lucien Chadenson**, intéressé par le monorail de Bennie, désire en construire un même au sud de Paris. Vu le manque d'intérêt, les travaux sont stoppés. Mais le système Safege gagne en importance.

1952: Le suédois **A**xel **L**ennart **We**nner-**G**ren (ALWEG) construit un monorail pouvant atteindre 160 km/h sur un tracé ovale prés de Fuhlingen (D). Le projet sera encore développé et commercialisé dès 1957. (Système Alweg) (fig. 48).

1956: Le Skyway Monorail, de type suspendu (fig. 49), circule sur une voie d'essai située dans l'Arrowhead Park à Houston. Chaque bogie contient un moteur Packard de 310 Ch. et 16 roues à pneus. Après quelques mois d'essai, il est démonté et reconstruit au Texas où il circule pendant 8 ans. Vitesse prévue : 160 km/h. Le pilote se trouve à l'arrière du caisson de roulement.

Fig. 48

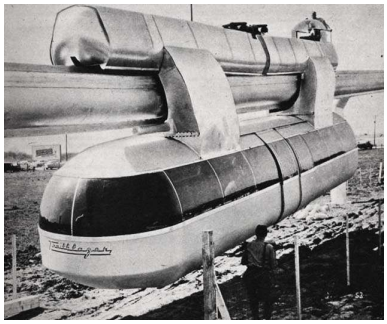


Fig. 49

1957: Le premier monorail japonais circule dans le jardin zoologique Ueno de Tokyo. C'est une version moderne de la Schwebebahn de Wuppertal (fig. 50). Par la suite, les Japonais adopteront le système Alweg (fig. 51) ou Safege.

1957: Sur la base des expériences effectuées dès 1952, **Alweg** présente son monorail sur un circuit à l'échelle 1/1. La première à acheter ce système est la Walt

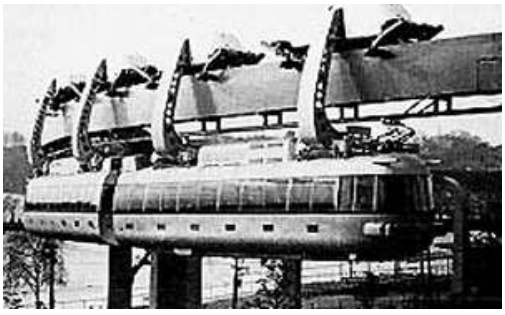


Fig. 50

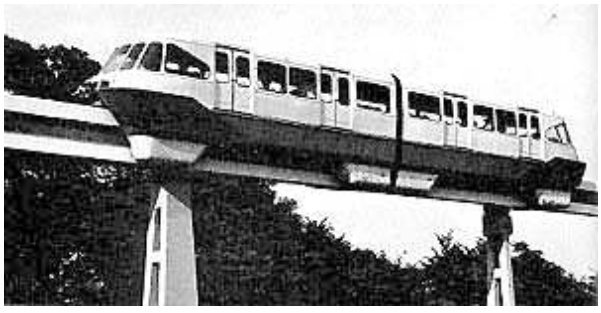


Fig. 51

Disney Company dès 1959 dont le but est de créer des animations dans ses parcs d'attractions. Dès lors ce type sera vendu dans le monde entier (fig. 52).

1958: Les monorails **Safege** apparaissent sur le marché (fig. 53). Son bogie est

présenté à la figure 54.
1958: Curtis-Wright Corp. projette le Skyline, un monorail aérien futuriste propulsé par hélices pour relier Penn Station (New-York) à Washington à la vitesse de 200 km/h (fig. 55).

Fig. 52

Fig. 53

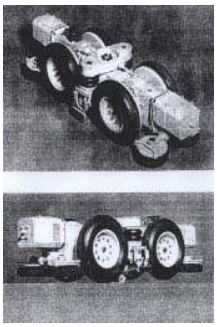


Fig. 54

1960: La firme **Habegger** développe en collaboration avec von Roll un monorail de petit format de type à cheval qu'elle présente à l'Expo 64 de Lausanne et à Munich en 1965. Ce monorail fait aussi sensation lors de l'Exposition de Montréal en 1967. Vitesse maximale 15 km/h. Von Roll exploite par la suite le principe du rail porteur en forme de caisson pour le guidage des convois. Plusieurs firmes livrent ce type de monorails comme « People-Mover System ». (Novelty Monorail construit des monorails pour le déplacement dans de grands centres d'achat ou de parcs).
1961: Le premier monorail suspendu circule à Turin lors du centenaire de la République italienne. Le projet ne sera pas étendu (fig. 56).

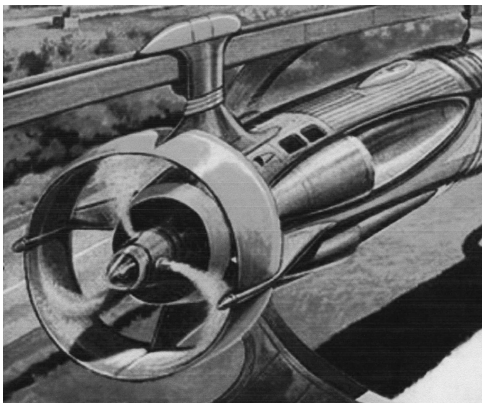


Fig. 55

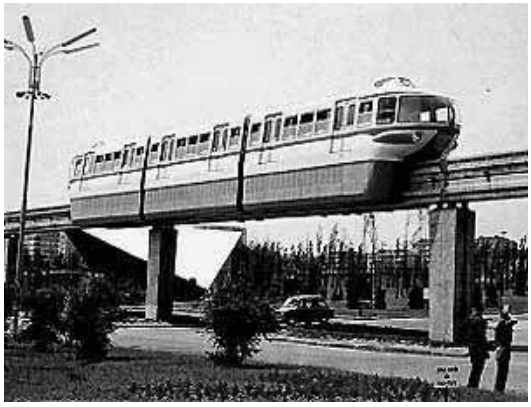


Fig. 56

1962: Une ligne Alweg est ouverte à Seattle. Malgré le vote favorable de la population, les autorités refusent son expansion pour des raisons financières (fig. 57).
1962: **Lockheed** (Nihon/Lockheed) développe un monorail semblable au type Alweg avec voie de guidage entièrement en acier et le teste à Los Angeles. Il est ensuite construit à Gifu au Japon (fig. 58). Le confort des passagers est peu satisfaisant. A la

fermeture du parc d'attraction, le monorail arrête son service. Un autre semblable fonctionne jusqu'en 1979 sur une seule voie et sur 1,5 km à Himeji (Japon).
1964: L'Expo 64 a laissé de bons souvenirs tant par son Télécanapé que par son monorail (16 km/h) de type à cheval , les deux construits par **Habegger**. De tels monorails circuleront lors d'autres expositions (fig. 59).

Fig. 57

Fig. 58

1964: Lors de l'exposition universelle de New York (1964-65) (fig. 60), organisée par AMF (American Machine and Foundry, fondée en 1900), les visiteurs peuvent admirer l'ensemble des pavillons depuis un monorail suspendu de type Safege mais avec un rail de guidage en « I ». 7 doubles rames. Un tour dure 8 minutes.

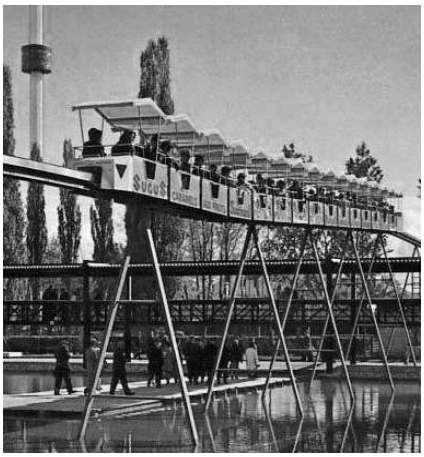


Fig. 59

Fig. 60

1964: Le monorail de Tokyo de type Alweg est inauguré entre la gare de Hamamatsucho et l'aéroport de Haneda. 17.8 km, vitesse 90 km/h, double voie, 20 rames à 6 voitures. Il dispose d'aiguillages.
1964: Le terme **People-Mover** est créé par la Walt Disney Company désireuse de construire de nouvelles attractions dans le cadre de ses parcs. Ce terme concerne l'ensemble des moyens mécaniques permettant aux passagers de parcourir facilement

de courtes distances. La technologie est brevetée sous le nom de WedWay. L'APM (**A**utomatic **P**eople-**M**over) est un système automatique de transport hectométrique, c.à.d. de courte distance, très répandu dans les villes, les aéroports et les expositions .

1965: **Lucien Chadenson** de La **S**ociété **A**nonyme **F**rançaise d'**É**tude de **G**estion et d'**E**ntreprises (SAFEGE) procède aux essais d'un monorail suspendu sur une piste de 1400 m à Châteauneuf-sur-Loire. Le rail est creux et les bogies, équipés de pneumatiques, circulent à l'intérieur d'un caisson à l'abri des intempéries. Le projet est abandonné en 1966. Cette ligne d'essai est immortalisée dans le film Fahrenheit 451. Le même principe se retrouve à Shönan (Tokyo) (6.6 km) depuis 1970 et à Chiba (15.5 km) dès 1988.

Les figures 61 et 62 présentent schématiquement les différents systèmes Alweg et Safege.

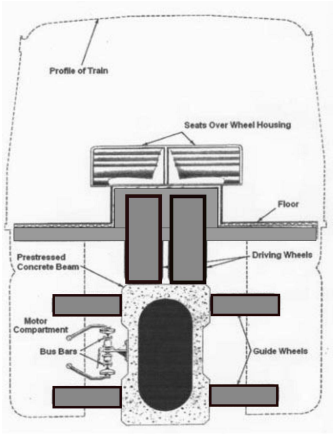


Fig. 61 : ALWEG

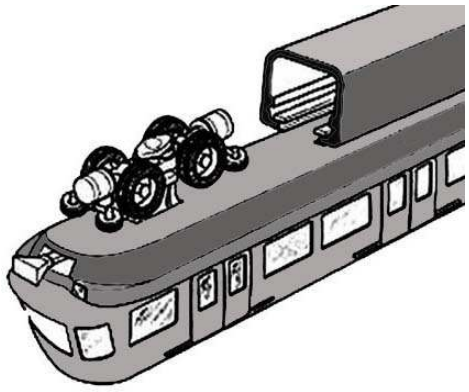


Fig. 62 : SAFEGE

1967: **Jean Bertin** (1917-1975) développe l'Aérotrain et l'expérimente sur une voie d'essai de 6.7 km entre Gometz-Le-Châtel et Limours pour des trains à grande vitesse sur des trajets de 100 à 500 km. Le projet est abandonné plus tard au profit du TGV. **Louis Duthion** dépose en 1961 le brevet du coussin d'air. Divers types sont développés et circuleront sur coussin d'air. La voie en tracé surélevé est en béton, en asphalte ou aluminium. 1969: une voie d'essai de 18 km surélevée est construite entre Ruan et Saran (Loiret). Les trains glissent le long d'un guide en « T » inversé. Aérotrain 01 (aéroglisseur sur rail en béton) propulsé par une hélice (vitesse 424 km/h en 1969), Aérotrain 02 avec un réacteur circulant sur une voie en béton avec rail central. Le Tridim sur rail central doté d'une crémaillère (fig. 63). Le 180-250 pour liaison inter-ville doté d'une hélice carénée puis d'un réacteur atteignant en 1974 la vitesse alors inégalée sur terre de 430,2 km/h (fig. 64). Le S44 est équipé d'un moteur linéaire et utilisé pour le trafic suburbain. Le 180 HV doté d'un réacteur est un projet d'aérotrain sur rail en béton. Le TACV (**T**racked **A**ir-**C**ushion **V**ehicle), aérotrain de Rohr Industries (voir plus loin) y est expérimenté (fig. 65). La capacité

des véhicules varie entre 4 et 100 places. La propulsion est assurée par un système pignon-crémaillère (électrique), par des roues pressées contre le rail central ou par moteur linéaire, par hélice ou réacteur voire turboréacteur.

Fig. 63

Fig. 64

1974: Plusieurs constructeurs s'intéressent à la construction de monorails, p.ex. Woojin Industrial Systemes Co.Ltd (Sari-Myeon ; Corée du sud) qui vend des monorails dont les bogies ressemblent à ceux de von Roll ou d'Intamin. Les constructeurs de monorails sont regroupés dans « The Monorail Society ».
1975: **Gerhard Müller** construit en 1932 son premier téléski. Il fonde son entreprise à Dietikon en 1947 et se spécialise dans les télécabines et télésièges. Son aérobus, dont les voies de roulement sont soutenues par des câbles, fonctionne à Mannheim en 1975 pendant l'exposition Gartenschau (fig. 66). En Chine, une ligne devrait être construite à Weihai selon ce principe.
1980: Le Dr **Julio Pinto Silva**, ingénieur espagnol, présente dans les jardins du Nuevos Ministerios (Madrid) un modèle de monorail à l'échelle 1/8 construit par Eurotren

Fig. 65

Monoviga SA. En grandeur nature, l'EM 403 est réalisé à Séville sur 2,4 km (1989). Il peut atteindre 200 km/h. A cette vitesse, les roues (fig. 67) métalliques sont remplacées par des pneumatiques et le moteur conventionnel par un moteur linéaire.
1984: Inauguration à Birmingham du premier Maglev (fig. 68) automatisé et

commercial, remplacé en 2003 pour des raisons d'usure du matériel par le SkyRail reliant l'aéroport à la gare centrale et au centre d'exposition. Le SkyRail est un monorail de 585 m de technologie Doppelmayr Cable Car et tracté par câble. Il circule

Fig. 66

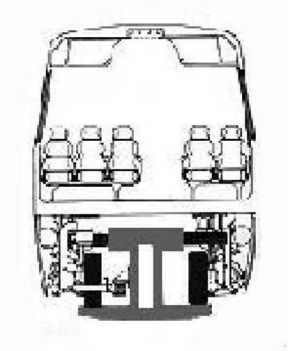


Fig. 67

Fig. 68

Fig. 69

à heure fixe ou sur demande des passagers (durée du trajet : quelques minutes). Le va-et-vient des deux rames (51 passagers) se fait indépendamment l'une de l'autre à la vitesse de 36 km/h (fig. 69).

1984: Siemens développe le **Si**emens **Pe**ople **M**over (Sipem) (fig. 70). Il s'agit d'un monorail suspendu (H-Bahn) de type Safege entièrement automatique, mais avec, à sa base, un caisson ouvert vers le bas plus petit que celui du Safege. Dortmund reçoit son Sipem en 1984, Düsseldorf en 2002. Siemens continue à vendre ce système, mais ne le développe plus.

1986 : A l'occasion de l'Exposition universelle de 1986, Vancouver fait construire un monorail par Bombardier, von Roll et Adtranz sur une distance de 5.4 km (fig. 71). Le tracé est double avec boucle de retournement. 10 rames de 9 voitures circulent.

Parmi les 20 monorails construits par von Roll, celui de l'aéroport international de Newark est le dernier construit en collaboration avec Bombardier. Il est ouvert en 1996 sur 4.8 km et 8 stations (fig. 72). Von Roll vend en 1994 sa division Monorail à Adtranz. En 1996, ABB-Henschel et AEG fusionnent pour former **A**BB **D**aimler **B**enz

Transportation (Adtrans), repris par Bombardier en 2001.

Fig. 70

Fig. 71

Fig. 72

Fig. 73

1988 : À l'occasion du bicentenaire de l'Australie, la ville de Sydney se dote d'un monorail construit par von Roll-Habegger. Les 2,6 km sont parcourus en 12 minutes

Fig. 74

avec 6 rames composées de 7 voitures. Le caisson de guidage a 940 mm de côté, sa hauteur au-dessus du sol varie entre 5,5 et 40 m. Rayon de courbure minimal 20 m.. Déclivité maximale en montée 4.4%, 6,5 à la descente. 500 V=. En 2010, deux rames entrent en collision. Arrêt de l'exploitation prévue en 2013 (Fig. 73 et 74).

Guidage de bus (dès 1980)

a) Guidage par roue guideuse :

La voie en site propre est construite avec une bordure métallique de chaque côté. De petites roues horizontales assurent la direction. De 1984 à 1987, un essai est réalisé à Birmingham avec un bus à deux étages sur une voie de 600 m. C'est la Tractline 65 (fig. 75 et 76).

Fig. 75

Fig. 76

1989: Adélaïde inaugure sur 12 km la plus longue voie pour ce genre de bus. 2011: mise en service de la ligne Cambridge – St-Ives (Cambridgeshire Guided Busway) (40 km) remplaçant le chemin de fer qui circula de 1840 à 1970). De 1970 à 1990, elle est utilisée exclusivement pour le transport de marchandises. Constructeur : la Koninklyke BAM Groep (1869) à Bunnik (Pays Bas). L'exploitation est ensuite interrompue.

b) Guidage par rail central débrayable :

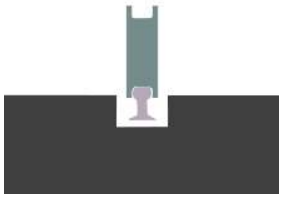


Fig. 77

Fig. 78

1987: Le système **Bombardier** (galet appuyant sur un rail central avec une force de 750 kg) est utilisé à Nancy et à Caen. Ce système fait penser à celui de Larmanjat et ne fonctionnera à Nancy que de 2002 à 2018. Il sera remplacé en 2018 par un tramway classique (fig. 77).

c**) Guidage par rail central non-débrayable** :
2006: Le système Translohr est utilisé entre autres à Clermont Ferrand (fig. 78).
d) **Guidage optique**
Une caméra à l'avant du bus suit un trait de guidage peint sur la route (fig. 79 et 80).

Fig. 79

Fig. 80

Les trains à suspension magnétique

La supraconductivité, propriété qu'ont certains matériaux de conduire le courant électrique sans résistance à des températures très bases (proches du 0 absolu, soit environ -273° Celsius) est découverte en 1911 par le physicien néerlandais **Heike Kamerlingh Onnes** (1853-1926), prix Nobel de physique en 1913. Elle permet de conduire de l'électricité sans perte d'énergie, les conducteurs n'offrant aucune résistance. La figure 81 montre un morceau de câble supraconducteur utilisé au CERN. Sur la tranche de 14 sur 2 mm se trouvent 36 brins composés de 6500 filaments en niobium-titane de 0.006 mm de diamètre enrobés dans une matrice de cuivre permettant le passage de 50 000 A.
Un second phénomène physique est nécessaire pour assurer la lévitation (fig. 82). En **1933, Fritz Walter Meissner** (1882-1974) et **Robert Ochsenfeld** (1901-1993) découvrent le diamagnétisme, phénomène physique à la base du Maglev (train à lévitation magnétique). A très basse température, ces aimants produisent un champ magnétique opposé à celui des aimants habituels. Les supraconducteurs sont des diamagnétiques parfaits à très basse température obtenu avec l'hélium liquide (environ -270°).

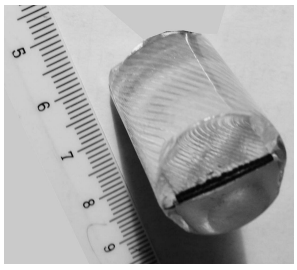


Fig. 81

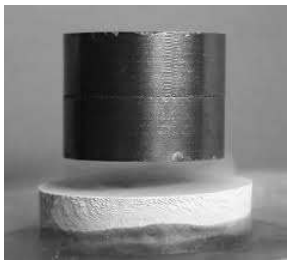


Fig. 82

1963: Le gouvernement américain stimule la recherche dans ce domaine.
James Powel et **Gordon Danby** reprennent les travaux **d'E. Bachelet** et, en 1966, présentent un prototype de Maglev pour lequel ils obtiennent un brevet en 1968. La conception intéresse également les Japonais. Dès lors, la recherche se fait en Allemagne, au Japon et aux USA.
Les études du **Transrapid** débutent en 1969 et des essais sont réalisés à Lathen (D). Lors de l'exposition de Hambourg de 1979, un Transrapid transporte des passagers pour la première fois. En 2006, un train percute un véhicule d'entretien sans dérailler, mais cause la mort de plusieurs personnes. La piste est aujourd'hui démolie. En Chine, alors qu'il était prévu pour relier Pékin à Shanghai, il n'est construit qu'entre l'aéroport de Shanghai (Pudong) et le centre ville et inauguré en 2003. Sur 30 km, les trains circulent à la vitesse de 430 km/h.
Au Japon, les recherches sur le **Maglev** débutent en 1962. En 2003, il atteint la vitesse de 581 km/h sur une ligne expérimentale qui devrait à terme relier Tokyo à Osaka en 1 heure.
Quant au **Swissmetro**, c'est encore une idée ambitieuse qui permettrait des vitesses supérieures à 500 km/h.

Il existe deux systèmes pour assurer la lévitation des trains ;
EDS : **Electrodynamic Suspension** (suspension électrodynamique) :
Répulsion par aimants supraconducteurs qui nécessite des températures constantes de -268° (refroidissement par hélium liquide). C'est le **Maglev** (**Mag**netic **Lev**itation) (fig. 85).
EMS : **Electromagnetic Suspension** (suspension électromagnétique)
L'attraction magnétique des solénoïdes assure la force de répulsion qui est contrôlée depuis une centrale. C'est le **Transrapid** (fig. 83, 84 et 87). Il nécessite de placer des électroaimants sur les côtés des rails de guidage car la répulsion magnétique est un phénomène peu stable. L'écart entre le rail et le train est constamment recalculé par les ordinateurs embarqués.
Pour ces deux principes (EDS et EMS), la propulsion est assurée par des moteurs

Fig. 83

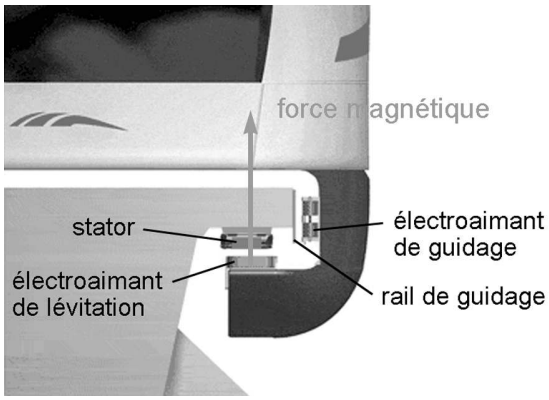


Fig. 84

linéaires synchrones. Des bobinages triphasés sont disposés sur la voie et des électro-aimants sont placés sur les véhicules. La vitesse dépend de l'intensité du courant alternatif envoyé dans les bobinages et de sa fréquence. Pour accélérer un train, il faut augmenter la fréquence et l'intensité du courant dans les bobinages, ce qui se fait depuis une centrale.

Fig. 85

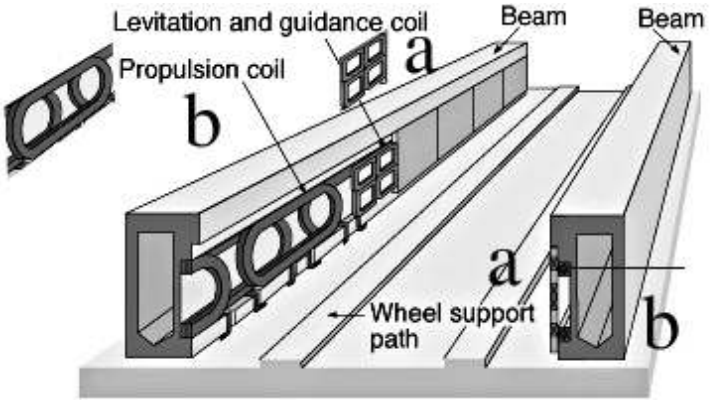


Fig. 86

De chaque côté des wagons du Maglev sont disposées 4 bobines supraconductrices (fig. 85, 86 et 88) parcourues par un courant de 700 000 ampères et baignant dans de l'hélium liquide à une température de -268° Celsius pour obtenir un champ magnétique de 5 Tesla (100 000 fois le champ de la Terre). Ces bobines repliées sur elles mêmes produisent un champ magnétique constant qui assure la lévitation et la propulsion avec l'aide des bobines placées dans les parois latérales de la voie de guidage. Ces dernières assurent respectivement la propulsion (b sur la fig. 86) (pilotée depuis une centrale) et la lévitation (a sur la fig. 86). Le champ magnétique des bobines de propulsion agit sur les bobines des wagons, produisant un courant induit qui crée à son tour un champ magnétique. Ce phénomène n'apparaît qu'à des vitesses supérieures à 100 km/h. Les wagons sont donc dotés de « roues d'atterrissage » ainsi que d'aérofreins.

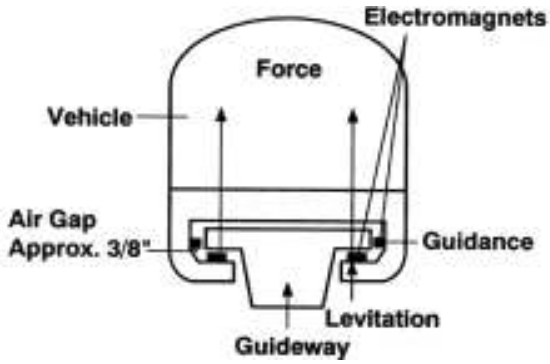


Fig. 87

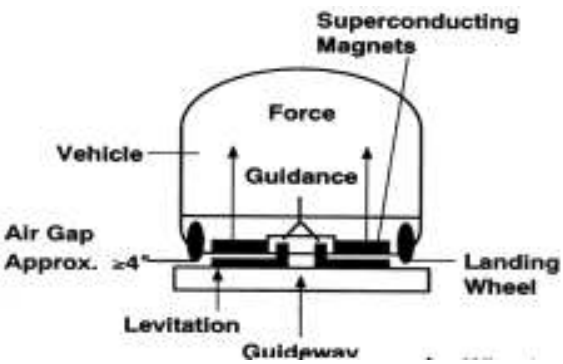


Fig. 88

Le IR Maglev MLX01 atteint en 2003 la vitesse de 581 km/h.

1996 : Le **Système 21** est un type de monorail suspendu latéralement. Le faible encombrement de la voie de guidage est un avantage. Par contre, le rail supérieur guidant les attaches doit se soulever dans les stations pour permettre l'ouverture des portes et le passage des passagers. Ce système pourrait être la solution pour le transport de marchandises sur de longs trajets et à grande vitesse (fig. 89, 90, 91).

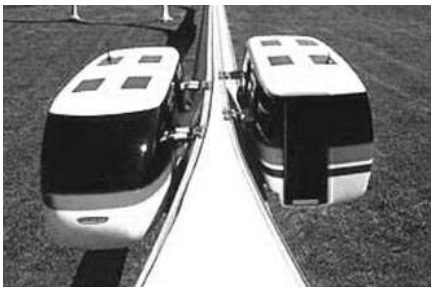


Fig. 89

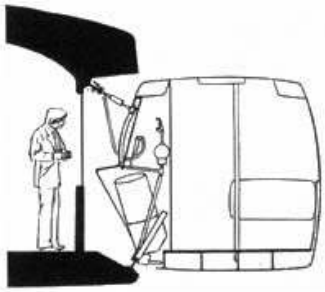


Fig. 90

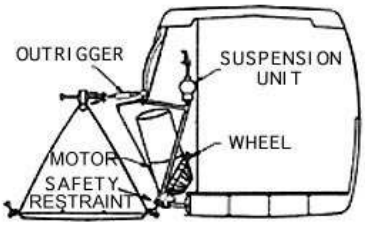


Fig. 91

Schräglift Alpmatten / Bettmeralp

4ème période (21ème siècle)

2004: Les usines Bombardier (Joseph Armand Bombardier (1907-1964)) construisent des monorails type « à cheval » automatisés (sans conducteurs) tels l'**Innovia Monorail -300**. Vitesse maximale 80 km/h, présence d'aiguillages, système de contrôle automatique des trains (ATC) Cityflo 650. Le monorail de Sao Paulo circule sur une voie de 24 km, c'est le plus long au monde (fig. 92).

Fig. 92

Fig. 93

2004: **B.Rajaram** met au point le Skybus Metro, monorail suspendu de 1.6 km construit près de Margao (Inde). L'accident d'un ouvrier cause l'arrêt des travaux (fig. 93).

2005: Connu sous le nom de Linimo, le monorail automatisé "Urban Maglev" (constructeur Chubu HSST Development Corporation) circule sur une ligne de 9 km avec 9 stations à la vitesse de 100 km/h dans la ville d'Aishi (Japon) (fig. 94). Il a été construit à l'occasion de l'exposition de Nagoya.

Fig. 94

Fig. 95

2005: **Einar Svensson** (The Urbanaut Compagny, Washington et Séoul) présente le Monorail Urbanaut en deux versions, soit à moteur conventionnel, soit en version

semimaglev (fig. 95). Avantages: la voie est plus étroite que le véhicule (fig. 96), les convois se composent de deux voitures de tête et d'un ensemble variable de wagons. Le tout est automatisé. Les bogies comportent 2 roues motrices sur pneus et 4 roues sur pneus positionnées obliquement pour le guidage (fig. 97). La version semimaglev utilise le même tracé avec des électroaimants positionnés parallèlement aux roues de direction. Ils agissent sur un rail magnétique placé sur le rail central et peuvent servir à propulser le véhicule, intervenant en fonction de la vitesse et de la distance qui sépare deux stations.

2008: Les Russes sont très actifs dans la recherche sur les monorails, mais divers projets ne sont que partiellement exploités. Le monorail de Moscou, construit sur la base de la technologie d' Intamin Transport est inauguré en 2008 sur 4.7 km. La voie de guidage reprend le système des montagnes russes avec les roues des trains s'emboîtant à l'extérieur des rails tubulaires extérieurs sur une porteuse en prisme soutenue par des piliers. Ce système est semblable à celui des montagnes russes construites par Giovanola, puis Bolliger et Mabillard (B et M) et Intamin SA.

Giovanola, fondée en 1888, basée à Monthey et spécialisée dans les constructions métalliques, a construit le mésoscaphe de l'Expo 64. Elle cesse son activité en 2004. Deux de ses anciens employés, MM. **Bolliger** et **Mabillard**, fondent en 1980, toujours à Monthey, une entreprise également spécialisée dans les montagnes russes et les tours de chute. **Intamin Transport AG**, fondée en 1967 avec siège à Wollerau., est spécialisée dans le même type de constructions auquel viennent s'ajouter les monorails (fig. 98 et 99).

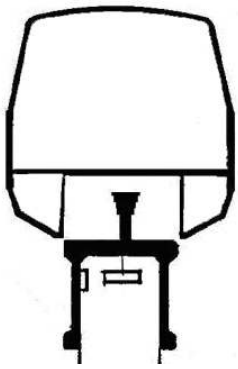


Fig. 96

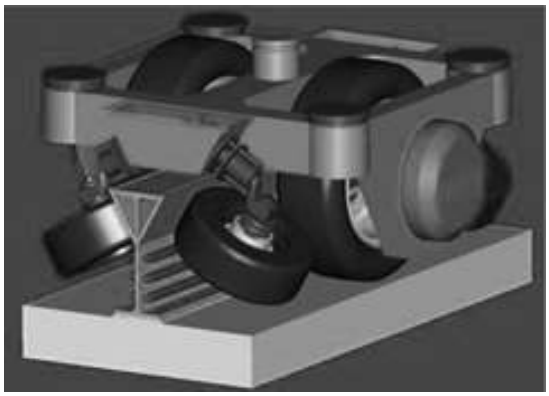


Fig. 97

2009: **Furno Costruzioni Ferroviarie Spa (Italie)** est un nouveau constructeur dans ce domaine. Cette entreprise construit un monorail pour la ville de Qom (Iran). Le premier tronçon de 6.2 km avec 8 stations sera mis en service en 2013. La ligne définitive comptera 25 km avec 17 stations (fig. 100).

2009: Mumbai Monorail, le premier monorail des Indes, est mis en construction et sera opérationnel en 2013 (fig. 101).

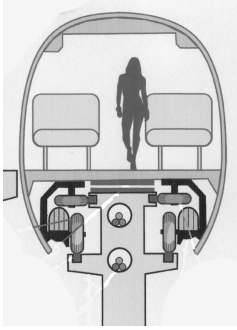


Fig. 98

Fig. 99

Fig. 100

Fig. 101

2009: Le « Cable liner Shuttle » de D**oppelmayr/Garaventa,** long de 650 m, tracté par câble, est inauguré à Las Vegas, reliant plusieurs casinos (cf SkyRail) (fig. 102). Le même système est utilisé à Venise (830 m de Tronchello à la Piazzale Roma; 2 fois 4 wagons) et à l'aéroport de Mexico (3'025 m ; 45 km/h)

Fig. 102

Fig. 103

2010: En Nouvelle Zélande, deux ingénieurs construisent un monorail suspendu dénommé Shweeb. Les passagers prennent place dans un cylindre transparent et se déplacent en pédalant à une vitesse pouvant atteindre 90 km/h (fig. 103). http://shweeb.com

2014: Le monorail Maglev, projeté à Orlando (USA) en décembre 2012 sera le

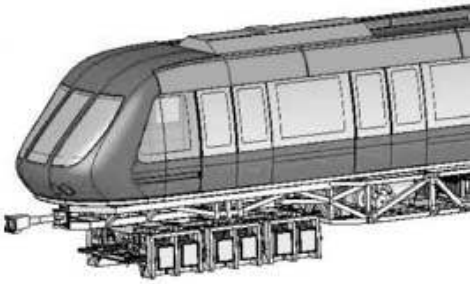


Fig. 104

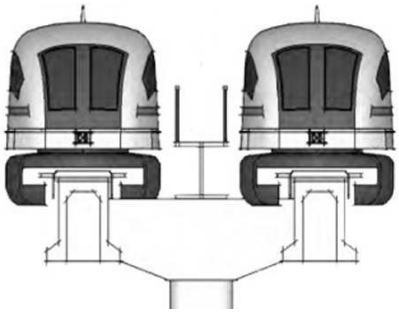


Fig. 105

premier des USA. Un premier tronçon de 24 km sera ouvert en 2014 entre l'aéroport d'Orlando et le Orange Country Convention Center. En 2030, les 64 km de ce métro seront construits. Le financement est privé. Le tout sera entièrement automatisé (fig 104 et 105).

PRT (Personal Rapid Transit) - TAT (Personal Automated Transport) - VRT (Very Rapid Transit).

Ces systèmes roulent sur un support (voie de guidage ou piste), ou sont suspendus. Le mode dual est caractérisé par des voitures automobiles privées modifiées pouvant utiliser un guide central (T inversé) pour assurer la direction de roulement. Sur une toile d'araignée tissée sur l'axe des grandes rues circulent de petites cabines pour plusieurs personnes qui choisissent leur destination. Le tout est commandé par un système informatique. Aux arrêts, le véhicule immobile peut être dépassé par le véhicule suivant. Plusieurs firmes d'Asie, d'Europe ou d'Amérique développent chacune leur propre système en espérant avoir trouvé la bonne solution. A lire PRT, TAT ou VRT, on s'aperçoit que chaque solution s'adapte en fonction des infrastructures existantes avec leurs avantages et leurs inconvénients.
1940 :Après avoir construit les réservoirs du Spirit of St.Louis, **Fred Rohr** (1896) fonde en 1940 la "Rohr Aircraft Corporation" à Chula Vista (San Diego) (Californie). Non seulement il construit des pièces pour l'aviation, mais aussi pour les transports publics (rames pour le BART, le métro de Washington, etc.). En 1970, il expérimente en France son aérotrain sous licence Bertin, le TACV Aerotrain. Il acquiert les droits pour la conception et la construction du Monocab et développe le Romag (**Ro**hr **Mag**lev) avec moteur linéaire et lévitation magnétique (fig. 106 et 107) sur la base du Monocab. Le monorail suspendu (fig. 106) est le prototype du Romag installé près de San Diego (USA), projet abandonné par la suite, les aiguillages posant de grands problèmes. En 1992, la firme devient Rohr Industry. Une autre version du système de cette firme roule sur un plan aménagé spécialement. Aujourd'hui Boeing développe ce système sous la dénomination **U**rban **M**ass **T**ransportation **A**ct. Plusieurs mégapoles américaines sont intéressées.

1963 : Ed. Haltorn développe le **Monocab VRT** (**R**apid **T**ransit **S**ystem) qu'il vend à Vero et qui est à son tour repris par l'entreprise Rohr. Cette dernière construit un type de monocabine entièrement automatisé. La vitesse peut atteindre 100 voire les 200 km/h. La vitesse commerciale varie entre 20 et 40 km/h. Les cabines ont 8 ou 16 sièges. Les avantages : la voie de guidage est légère, le système fonctionne sur demande 24/24 heures. Une cabine à l'arrêt à une station peut être dépassée par la suivante. Ce système sera utilisé dans la ville de la Gold Coast City (Queensland, Australie) avec ses vastes environs. Un réseau de 200 km de voie est envisagé (fig. 108).

Fig. 106

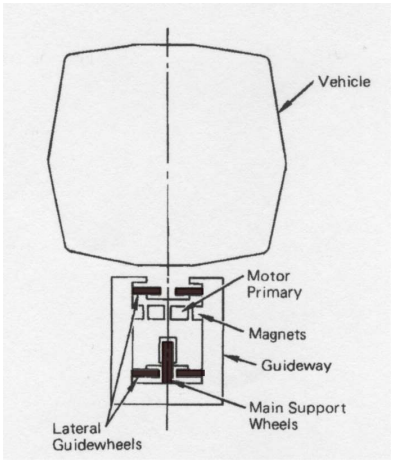


Fig. 107

1975 : Basé sur un système plus simple (une piste avec guides latéraux) le monorail de l'Université de Virginie West (Morgantown) circule depuis 1975 sur 13,2 km avec 5 stations (fig. 109). Ce système avait été adopté car les bus transportant les étudiants entre plusieurs sites de cette université devaient emprunter une route sinueuse et à trafic dense. Le prix très élevé du système est un fort handicap à son développement futur.

1990 : Le **Sky Tran PRT** a été testé sur un tronçon de ligne et sera opérationnel dès 2014 à Tel-Aviv. C'est un monorail suspendu avec des cabines pour 2 passagers avec un dispositif de lévitation magnétique. L'alimentation pourrait plus tard provenir de cellules photo-voltaïques (fig. 110).

2001 : Sous la direction de l'ingénieur Bernard Saugy, une équipe de l'EPFL développe un magnétoglisseur, la Serpentine (fig. 111). L'alimentation en énergie se fait par une série de bobines primaires enfouies dans la chaussée assurant également son guidage. Lors du passage, le véhicule reçoit l'énergie transmise de la bobine proche à sa bobine secondaire placée sous ce dernier. Les passagers choisissent leur destination, Le tout est contrôlé par ordinateur. Les essais ont lieu en 2001 sur le quai d'Ouchy sur un trajet de 330 m. Pour des raisons légales, le projet est abandonné. Dans le cadre de City Mobil (2012-2015) et avec l'aide de la firme française Induct, des essais seront

prochainement organisés sur les terrains de l'EPFL avec la navette autonome et automatique Navia (fig. 112).

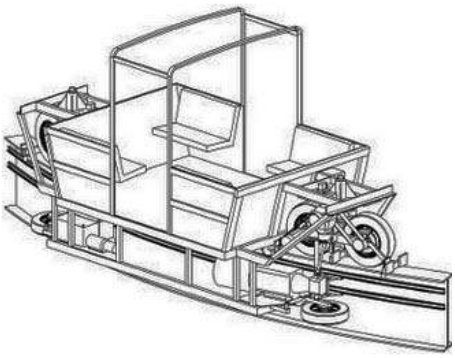


Fig. 108

Fig. 109

Fig. 110

Fig. 111

Fig. 112

Fig. 113

2011 : Le **Heathrow Pod** de la firme anglaise Ultra Global (Bristol) fonctionne dans cet aéroport depuis 2011 sur un trajet de 3,8 km. à 40 km/h. 21 véhicules dotés de 4 roues sur pneu et de 4 sièges circulent, permettant un débit de 656 passagers par heure dans chaque sens entre 3 stations (fig. 113). Sur une piste de 1.6 m de large en béton/métal avec de petits murs latéraux, les cabines sont guidées à distance grâce à

un transpondeur placé au milieu de la piste. Le système Ultra (**U**rban **L**ight **TRA**nsit) utilise le Microautobox garant de toutes les commandes à l'intérieur du véhicule, doté de vidéosurveillance. Poids à vide : 850 kg, max. : 1300 kg. L'énergie (2 KW) est fournie par des batteries (Pb/acide) pesant 64 kg.

Fig. 114

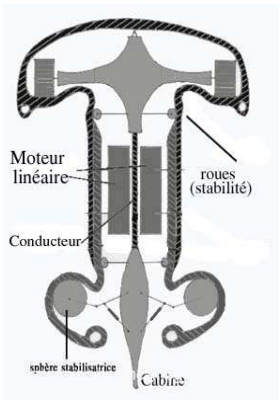


Fig. 115

2010 : Le **Masdar PRT** circule sur 11.7 km avec 10 véhicules assurant un débit de 300 personnes dans les deux sens dans la ville d'Abu Dahbi (fig. 114). Le système de guidage est placé sous le sol, permettant aux piétons un accès sécurisé à la route.
2012 : L'industrie anglaise a présenté ces dernières années le BeemCar, comportant une voie de guidage légère (matière synthétique), un moteur linéaire et une cabine pour 5 passagers (fig. 115 et 116).
2013 : Le projet Transquebec (fig. 118) devrait relier Quebec à Montréal en 1 heure environ à la vitesse de 250 km/h. Chaque wagon emportant 60 à 70 personnes

Fig. 116

Fig. 117

ou 10 t de fret est suspendu à 2 fois 8 roues motrices avec moteur dans la roue (fig. 119). Le prix serait de 12 à 15 millions de dollars au kilomètre, contre 3 fois plus pour un TGV.
2013 : Dans le système « Vectus Intelligent Transport » les roues n'ont pas de

boudin. Le véhicule est maintenu sur les rails par des roues horizontales (fig. 117). Moteur linéaire ou rotatif, 6 à 8 passagers, 70 km/h, poids avec passagers 2500 kg.

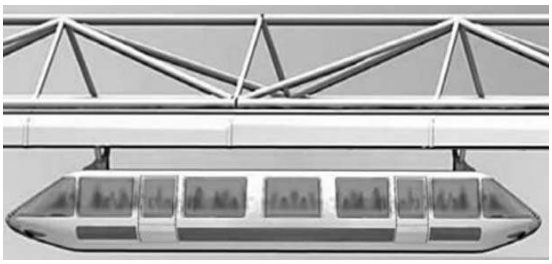


Fig. 118

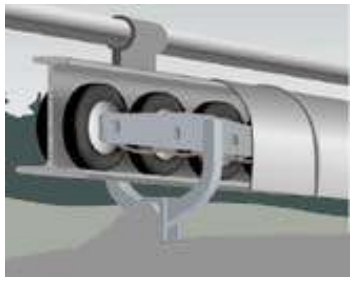


Fig. 119

Les aiguillages

Les monorails modernes doivent s'équiper d'appareils de voie pour assurer un transport efficace des voyageurs. Plusieurs systèmes sont utilisés :

- le système le plus simple (fig. 120) est constitué d'une lame flexible du guide en T inversé de l'Aérotrain S44.
- les segments de voie courbe et droite se trouvent soit sur une plaque se déplaçant perpendiculairement au sens de circulation ou sont fixés sur un axe horizontal permettant le pivotement du système (fig. 121). Ce système est également visible sur la fig. 124 qui représente un aiguillage du monorail suspendu du Wuppertal.
- la voie de guidage pour les monorails à cheval est formée de segments s'articulant les uns aux autres pour former une « courbe »(fig. 122). Le monorail d'Osaka (fig. 123) en est un exemple.

Fig. 120

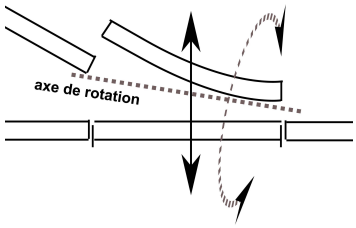


Fig. 121

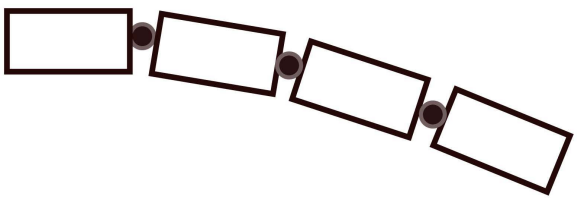


Fig. 122

Fig. 123

- Les monorails suspendus type Safege utilisent ce type d'aiguillages par exemple le monorail de Shonan (Japon) mis en service en 1970, le premier de ce type au Japon . Les bords de la lame mobile sont indiqués en des pointillés dans la figure 125.

Fig. 124

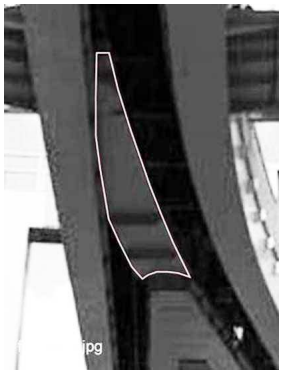


Fig. 125

L'accès des voyageurs

Pour accéder aux quais des divers monorails, les voyageurs utilisent des rampes, escaliers, escaliers roulants, ascenseurs à plus ou moins grande capacité. Le système suivant est efficace : une grande cabine, de longueur égale à celle des véhicules, forme le quai d'embarquement qui s'élève avec les passagers partants et redescend avec ceux qui ont terminé leur voyage. Le tout est synchronisé avec l'arrivée du véhicule.

Conclusion

Pour construire des moyens de transports publics modernes, les autorités des grandes villes n'ont aujourd'hui que deux possibilités : le métro ou le monorail. Les avenues étant envahies par les véhicules privés, c'est le seul moyen d'offrir aux transports publics des sites réservés. C'est aussi une façon efficace de lutter contre la pollution en évitant les éternels bouchons aux heures de pointe. Les monorails modernes sont construits comme moyen de transport de masse ou de transport individualisé.
Pour rédiger cet article, j'ai essayé de respecter une certaine chronologie tout en mettant l'accent sur les systèmes utilisés. Il est impossible de couvrir le sujet de manière exhaustive, la technologie des monorails est en plein essor.

Appendice

Classification des monorails

On peut en gros diviser les monorails en trois types (sans parler de plusieurs exceptions) :

Suspendu sous la voie de guidage

Exemple : monorail de Wuppertal (fig. 19)

À cheval sur la voie de guidage

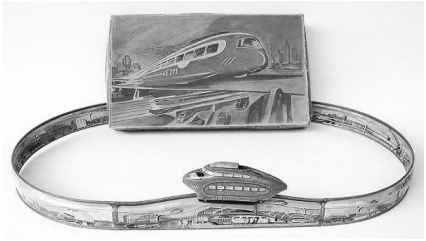
Exemple : monorail type Alweg (fig. 38)

Circulant au dessus de la voie de guidage

Exemple : monorail Urbanaut (fig. 81)

Annexes

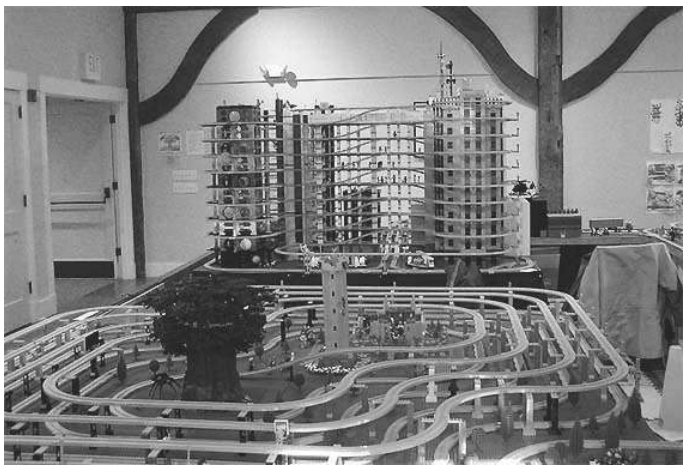
Les monorails peuvent avoir différentes autres fonctions comme le montrent les figures suivantes :

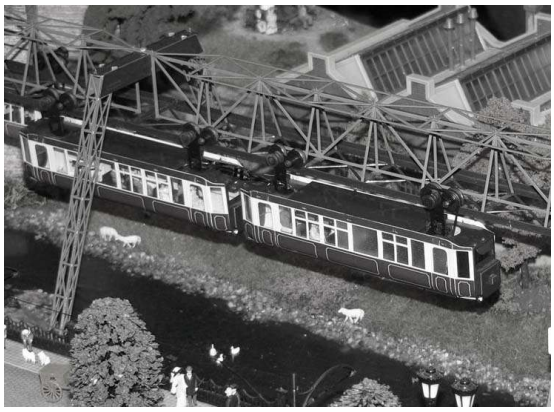


Monorail à fusée Lego Le Rocket Express

Pour terminer, je vous invite à voyager à bord d'une composition circulant sur le plus long monorail LEGO au monde, 222.2 m, construit par les membres de NELUC et exposé au musée de Wenham (USA : Ma).

http://www.youtube.com/watch?v=6k7iOzm0UWM





Modélisme ferroviaire : Monorail du Wuppertal et de Lartigue

Prototype d'un Maglev pouvant atteindre 500 km/h

Pierre Oehrli, juin 2013, Pully