

Petite histoire du freinage ferroviaire

Les premiers freins

L'histoire du frein ferroviaire commence vers 1550, en Europe. Dans les mines de Leberthal, en Alsace, le minerai extrait est transporté à l'aide de wagonnets dont les roues en fer roulent sur des longrines qui ne s'appellent pas encore des rails. Un historien nous apprend qu'« Une pièce de bois, disposée horizontalement au-dessus d'une roue, était articulée au flanc du wagonnet. Le conducteur, qui était un enfant, pouvait ainsi l'appuyer de la main ou du pied contre la périphérie de la roue et modérer la vitesse de ces chariots miniers lancés dans de faibles déclinaisons ».

Deux cents ans plus tard, nous sommes au milieu du 18^{ème} siècle et le transport par diligence se développe partout en Europe. Il s'agit, certes, de véhicules que l'on pourrait qualifier de routiers. Néanmoins, ces véhicules sont équipés, en France, d'un système de freinage appelé "mécanique" qui permettait au conducteur d'appliquer un ou plusieurs sabots contre les roues sans descendre de son siège. Ces sabots sont actionnés par une transmission commandée par le levier à disposition du conducteur : il s'agit ici d'une première ébauche du freinage à commande centralisée.

Le premier incident de frein...

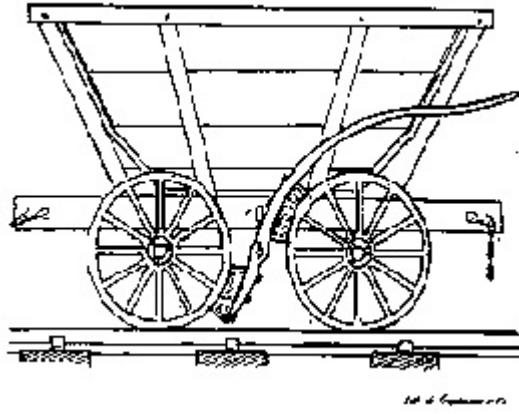
Restons sur la "route" avec le premier incident de freinage de l'histoire, intimement lié à la naissance du moteur. Le 23 novembre 1770, Nicolas-Joseph CUGNOT présente, à l'Arsenal de Paris, son désormais célèbre fardier, un chariot équipé d'un moteur à vapeur. Difficile à diriger et faiblement freiné, il finit sa course dans un mur d'enceinte... Cet incident mettra fin pour de longues années aux expérimentations de véhicules sans chevaux, qu'ils soient ou non guidés : déjà à l'époque, le freinage est le facteur déterminant qui se doit de suivre les progrès de la traction.

Avançons de quelques années avec la naissance du rail en France : à la suite d'une visite au Creusot, l'un des berceaux industriels de la France, Louis Jean-Marie DAUBENTON écrit en 1782 à George-Louis LECLERC de BUFFON : « Toutes les routes y sont tracées par des pièces de bois, auxquelles sont adaptées des bandes de fonte sur lesquelles portent les roues des chariots qui conduisent le charbon à la mine ; et ces roues sont conduites de manière que le chariot ne puisse se détourner et est obligé de suivre la route qui lui est tracée ; de sorte qu'un seul cheval, même aveugle, conduit sans gêner quatre milliers et plus... ». L'accident de CUGNOT n'est pas encore oublié, et la traction hippomobile règne encore en maître, ne nécessitant pas de système de freinage.

Naissance du chemin de fer en France

L'année 1827 marque un tournant dans l'histoire industrielle de notre pays avec la naissance du chemin de fer entre Saint Etienne et Andrézieux.

Dans le sens de la descente, les convois, qui pouvaient compte jusqu'à 14 véhicules pesant chacun 5 tonnes en charge (1 tonne à vide), avançaient par le simple effet de la gravité. Ils étaient donc équipés d'un système de freinage sous la forme, sur chaque wagon, de deux sabots montés tête-bêche sur un levier pivotant autour d'un axe lié au châssis.



Système de freinage sur un wagon vers 1827

Les leviers étaient reliés entre eux par une corde, de telle sorte que les conducteurs installés sur le wagon de tête et des wagons intermédiaires pouvaient actionner les freins de plusieurs wagons simultanément : le premier système de freinage ferroviaire était né, et son architecture se rapproche déjà, dans son principe de base (commande des freins sous la dépendance d'un seul homme), des systèmes actuels...

A la montée, les convois étaient tirés par des chevaux : la locomotive se faisait toujours attendre.

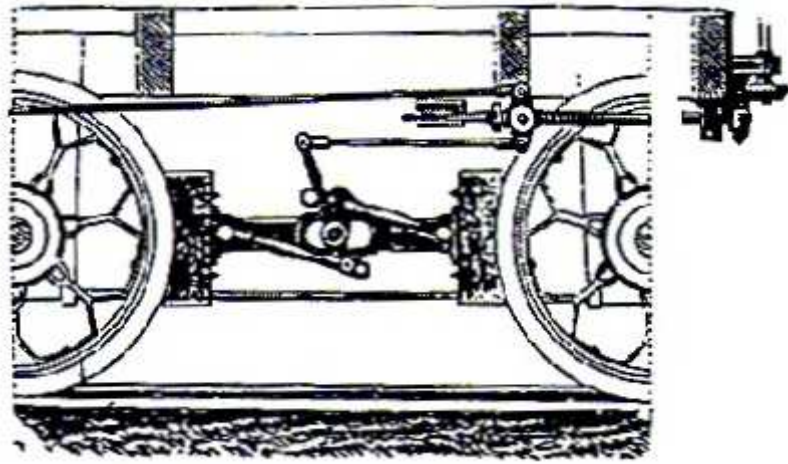
Les premières locomotives

Celle-ci n'allait pas tarder à arriver, puisqu'en 1831 sont mises en service les deux premières locomotives à chaudière tubulaire de Marc SEGUIN. Fait intéressant, la distribution de la vapeur aux cylindres était conçue de telle sorte qu'il soit possible de fonctionner en marche arrière (on dit alors "battre contre vapeur") pour ralentir le convoi en cas d'obstacle inopiné sur la voie : le frein dynamique est donc né en même temps que la traction ferroviaire.

L'année suivante (1832), un frein mécanique apparaît sur le tender de la locomotive (locomotive anglaise SAMSON importée en France). C'est un frein à sabots commandé par une vis, permettant une manœuvre prolongée du frein sans nécessité de maintenir un levier et donc procurant une meilleure efficacité sans fatigue du conducteur. Ce frein est actionnable soit par le mécanicien, soit par le chauffeur.

Les premiers trains de voyageurs

L'année 1837 marque la véritable naissance du freinage ferroviaire, avec l'inauguration des premiers services voyageurs réguliers entre Paris et Saint Germain en Laye. De nombreuses variétés de freins apparaissent alors, toujours basés sur le principe du sabot frottant contre la roue, mais actionnés de différentes manières : coins, tringleries, engrenages. Les sabots de frein équipent un ou deux côtés des roues, afin d'augmenter l'efficacité et l'effort de freinage.



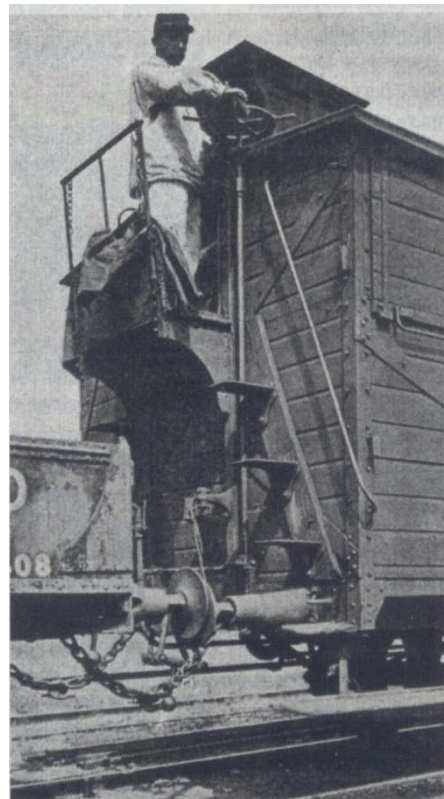
Système de freinage à commande par vis et tringlerie vers 1837

Mais seule une partie des véhicules (en général les plus lourds) sont équipés de dispositifs de freinage, ce qui implique la création de postes de "gardes-frein", agents spécialisés chargés de la mise en œuvre des freins lors des circulations, mais aussi de leur maintenance (graissage des mécanismes, remplacement des sabots) : ils étaient donc tenus pour responsables des accidents qui pouvaient être la conséquence d'un mauvais entretien des freins du véhicule dont ils avaient la charge.

Le principe était le suivant : le train étant composé de la locomotive et de voitures, dont certaines freinées par les "gardes-frein", le mécanicien, pour commander le freinage, lançait un signal sonore au moyen du sifflet de la locomotive. Ce signal était répété par le premier "garde-frein" aux autres "gardes-frein" du convoi. Chaque "garde-frein" devait donc actionner les freins suivant les instructions données par le mécanicien au sifflet de la locomotive. D'autres moyens de transmission des ordres pouvaient être utilisés, comme des sonneries, des drapeaux, des lanternes, ...



Garde-frein dans sa guérite sur un wagon de la fin du 19^{ème} siècle



Garde-frein à son poste au début du 20^{ème} siècle

Certains "gardes-frein" avaient même parfois la charge de plusieurs véhicules freinés, et devaient donc se déplacer d'un véhicule à l'autre (quelles que soient les conditions météorologiques...).

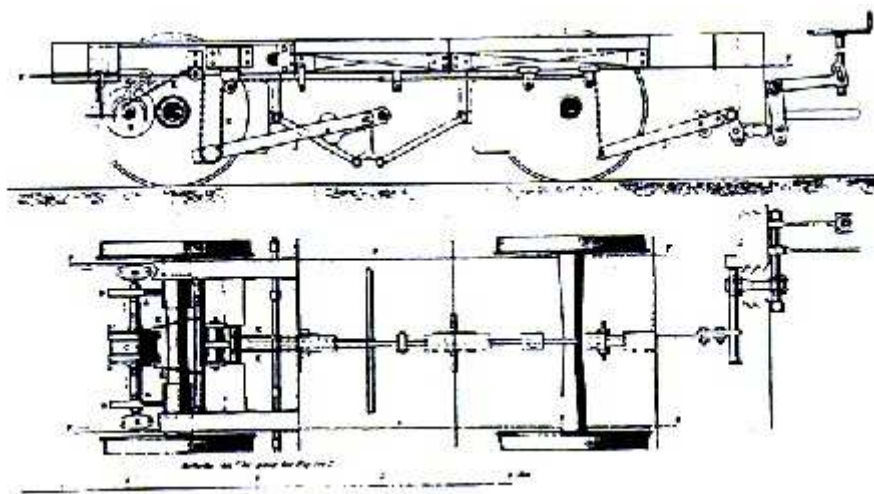
Le premier brevet français

En 1843, Henri NOSÉDA dépose à Mâcon le premier brevet français concernant un système de freinage ferroviaire. Il s'agit d'un frein à vis, pignons, embrayage, tringlerie, chaîne, sabots et ressorts. Il est essayé sur le chemin de fer d'Orléans entre 1843 et 1845. A la même époque, un dispositif simple basé sur une manivelle à vis actionnant une timonerie appliquant les sabots sur les roues se répand en France.

L'année 1846 marque un tournant dans l'histoire ferroviaire française. Le 8 juillet de cette année-là, à Fampoux (sortie d'Arras), un convoi parti le matin de Paris, et composé de 2 locomotives et de 20 voitures, a un peu de retard. Le mécanicien accélère plus que de raison et atteint une vitesse qualifiée d'inaccoutumée. Dans une courbe, un choc dû au freinage intempestif commandé par un "garde-frein" brise la chaîne d'attelage entre les quatrième et cinquième voitures. La queue du train déraile à la suite de cette cinquième voiture, et est précipitée dans un étang, faisant 14 morts. Les ingénieurs de l'époque se rendent alors compte qu'il est nécessaire de réfléchir à un système de freinage permettant une commande continue et centralisée depuis la locomotive. Cet accident montre également que les réactions d'attelage consécutives à une mauvaise utilisation ou conception des freins ont la capacité de briser un train.

Le premier frein continu

Neuf ans plus tard, en 1855, naît donc le premier système de frein dit continu, c'est-à-dire qu'il équipe l'ensemble des véhicules d'un convoi et qu'il est commandé par le mécanicien. Breveté le 20 mars par Auguste ACHARD, il est constitué de sabots actionnés par des électro-aimants qui mettent en contact des galets de friction avec l'essieu, lequel peut ainsi transmettre son énergie de rotation pour assurer le serrage des freins par l'intermédiaire d'un système de chaînes et timonerie. Le premier frein continu est donc à commande électrique ! Ce frein est de plus, dans l'une de ses versions, automatique : en cas de rupture d'attelage, la ligne d'alimentation électrique se coupe et l'action des électro-aimants provoque, grâce à des batteries locales, le serrage des freins des véhicules situés en aval de la rupture.



Système de freinage ACHARD

Ce système de freinage, essayé initialement vers 1860-1862 par le PLM et la Compagnie des Chemins de Fer de l'Est, subsistera jusque vers 1883, mais sera abandonné en raison du manque de fiabilité des connections électriques entre véhicules, et le développement du frein pneumatique, beaucoup plus fiable.

D'autres systèmes de frein que l'on peut qualifier de sérieux verront le jour dans la même période :

- Le frein automoteur de Mr GUÉRIN : sur chaque véhicule, le freinage est commandé par un dispositif mis en œuvre par la contraction des tampons, laquelle est consécutive à un premier effet de ralentissement donné par la locomotive. Si ce dispositif recèle en soit la continuité du frein et sa commande par le seul mécanicien, sa fiabilité se révèle douteuse et surtout l'automatisme est inexistante : en cas de rupture d'attelage, la queue du train dérive sans possibilité de la freiner.
- Le frein à contrepoids de Mr NEWALL : un contrepoids installé dans le premier d'un groupe de plusieurs véhicules actionne, lors de sa chute, une timonerie venant appliquer les freins de l'ensemble des véhicules du groupe concerné. Ce frein recèle en soit le principe d'automatisme, puisque la timonerie entre véhicules est conçue pour appliquer le frein des véhicules d'un même groupe en aval d'une rupture d'attelage. La commande des freins est assurée par le mécanicien à l'aide d'une corde, permettant même de commander plusieurs groupes de véhicules simultanément : le principe de continuité peut donc être respecté. Il fut adopté en 1855 par la Compagnie des Chemins de Fer du Nord.

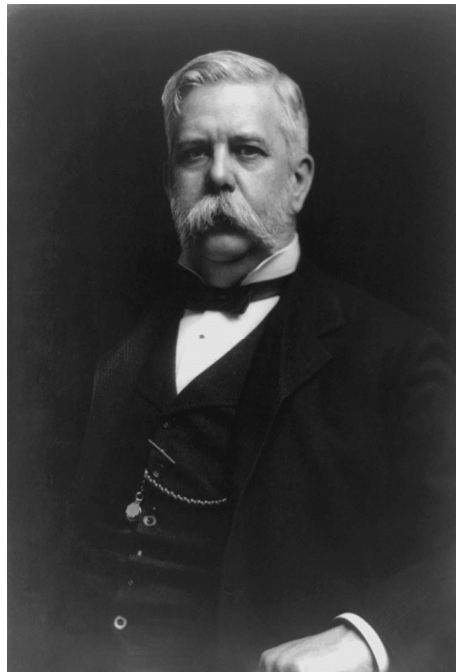
L'ère de l'air

Bien que le premier brevet de frein pneumatique (à vide) date de 1844, ce n'est qu'en 1862 qu'un système de frein de ce type est expérimenté par Mrs VERDAT du TREMBLAY et MARTIN. En 1877, la Compagnie des Chemins de Fer du Nord est la première compagnie française à adopter un frein pneumatique (à vide également) dû à Mrs SMITH et HARDY.

Le principe consiste à générer le vide dans une conduite parcourant le train, vide qui, au niveau de chaque véhicule, provoque l'aspiration d'un piston dans un cylindre : le piston génère alors un effort qui applique les sabots sur les roues par le biais d'une timonerie. Le desserrage est obtenu par retour du piston à sa position initiale par simple gravité (ce qui au passage nécessite une installation verticale du cylindre).

L'invention géniale de George Westinghouse

En parallèle se développe un autre frein pneumatique, à air comprimé cette fois : l'année 1870 marque la naissance du frein pneumatique tel que nous le connaissons encore plus d'un siècle et demi plus tard. George WESTINGHOUSE est, en ce jour de novembre 1867, assis dans un train en face d'une voyageuse qui lit une revue, lorsque son attention est attirée par le titre d'un article : "Dans le tunnel du Mont Cenis". Il demande alors à sa voisine la permission de lire l'article : le frein pneumatique WESTINGHOUSE est né. En effet, George WESTINGHOUSE va s'inspirer l'utilisation de l'air comprimé par l'ingénieur SOMMEILLER (pour actionner les perforatrices à percussion de la galerie du Mont Cenis) pour imaginer le frein pneumatique moderne. Il dépose un brevet en France le 9 septembre 1870 (en pleine guerre franco-prussienne !), brevet qui constitue la base du frein pneumatique moderne. Curiosité de l'époque, c'est en France le ministère de l'Agriculture et du Commerce qui valide ce brevet (dans l'idée de réduire le nombre de bovins tués sur les voies ?...) !



George WESTINGHOUSE (1846-1914) au début du 20^{ème} siècle (Library of Congress, Washington, D.C.)

Écoutons George WESTINGHOUSE faire lui-même l'éloge de son invention en 1872 :

« En usage sur plus de 50 chemins de fer des USA

Accepté par les Dirigeants des principales compagnies

Peut arrêter un train sur sa longueur...

Est toujours efficace...

N'exige pas un gros entretien

Place le train sous la dépendance complète du mécanicien

Évite les chocs et les secousses pendant le freinage

Est silencieux et souple dans son fonctionnement

N'exige pas l'usage du sifflet de la locomotive quand le train doit être arrêté

On en récupère le prix d'acquisition en un an...

Diminue l'usure et les détériorations du matériel roulant

Économise les roues

Diminue les factures à payer pour les rencontres du bétail sur la voie (ndlr : d'où la validation par le ministère de l'Agriculture ?...)

Évite les pertes de vies humaines et les frais d'accidents »

Tout est dit dans cette publicité, jusqu'aux préoccupations, plus que d'actualité aujourd'hui, de retour sur investissement et de réduction des coûts de maintenance : visionnaire !

En 1873, George WESTINGHOUSE développe la première triple valve, organe central du frein pneumatique à air comprimé et qui équipe encore (sous des formes certes un peu plus évoluées) certains matériels anciens encore en service (les BB 63000 de la SNCF par exemple...).

En France, le frein WESTINGHOUSE est introduit en 1877 par la Compagnie des Chemins de Fer de l'Ouest.

Devant l'importance de cette innovation, une circulaire ministérielle du 21 septembre 1880 somme les Compagnies de chemins de fer françaises d'adapter dans un délai de 2 ans pour leurs trains express (vitesse supérieure à 60 km/h...) des freins continus et si possible automatiques, préconisant au passage l'utilisation du frein WESTINGHOUSE...

Devant le succès rencontré par son invention, George WESTINGHOUSE ne peut faire face à la demande, et un français, Mr WENGER, invente en 1883 un frein pneumatique à air comprimé ayant à peu près les mêmes fonctions que le frein WESTINGHOUSE, et essayé par la Compagnie de Paris à Orléans. Ces deux types de freins vont cohabiter jusque vers 1897, date à laquelle le frein WESTINGHOUSE se perfectionne (frein rapide WESTINGHOUSE), prenant définitivement le dessus au début du 20ème siècle. Entretemps, le célèbre accident de la gare Montparnasse le 22 octobre 1895 sera venu renforcer la volonté des autorités d'imposer l'équipement des trains avec un système de freinage sûr et fiable : c'est en effet une défaillance du système de freinage à l'entrée de la gare Montparnasse qui empêche l'arrêt du train de Granville, dont la locomotive termine sa route en contrebas sur la place de Rennes (en une image restée célèbre, et qui a fait le tour du monde), tuant une marchande de journaux dans son kiosque.

Les progrès réalisés en moins d'un demi-siècle ont été fulgurants, apportant la sécurité en même temps que les performances : vers 1845, un train de 8 véhicules, équipé du frein à vis et lancé à 50 km/h, s'arrêtait sur une distance de 230 mètres ; en 1889, le frein WESTINGHOUSE est capable d'arrêter un convoi de 50 véhicules sur 215 mètres à partir de 70 km/h... Aujourd'hui, la distance d'arrêt d'un TGV à partir des mêmes vitesses est inférieure à 150 mètres.

En 1911 apparaît une nouvelle génération de triple valve, destinée à équiper l'ensemble des véhicules (voyageurs et marchandises).

La première guerre mondiale est le théâtre du plus grave accident ferroviaire de l'histoire européenne. Le 9 novembre 1917, obéissant sous la menace de l'autorité militaire, un train de permissionnaires du front de Salonique s'engage dans la descente en 30‰ de la Maurienne, malgré le signallement d'un nombre insuffisant de véhicules actifs au frein. Durant la descente, le mécanicien ne peut maîtriser la vitesse du convoi, qui déraile dans une courbe et prend feu : on relèvera 700 victimes.

L'arrivée des distributeurs

Il faut ensuite attendre le redémarrage de l'économie pour voir apparaître, dans les années 20 et 30, les premiers distributeurs, homologués par l'UIC : distributeurs WESTINGHOUSE et KUNZE-KNORR en 1926, puis HILDEBRAND-KNORR en 1932.

Le freinage ne fera ensuite plus guère de progrès jusqu'à la fin des années 60. En effet, la seconde guerre mondiale marque fortement les réseaux ferroviaires européens, tandis qu'outre-Atlantique l'avion et l'automobile commencent à reléguer le train au seul transport de fret. Ainsi, les seules évolutions concernent l'amélioration du frein pneumatique WESTINGHOUSE, avec l'apparition des distributeurs modernes encore en service aujourd'hui à plusieurs centaines de milliers d'exemplaires : distributeurs CHARMILLES en 1948, KNORR KE en 1954, WESTINGHOUSE E3 en 1957, puis CHARMILLES C3W en 1972. Les derniers appareils développés sont le distributeur OERLIKON ESG en 1977 et le distributeur SAB WABCO SW4 en 1998.

La naissance du frein à disques

En parallèle, les années 60 sont marquées par un saut technologique important. En effet durant ces années, les exploitants se lancent dans la course à la vitesse, afin de rester compétitif face au développement de l'automobile. Au Japon et en France apparaissent les trains à grande vitesse (pour l'époque !), autour de 200 à 210 km/h. Il s'avère alors que le freinage par semelles en fonte sur roues – utilisé depuis une centaine d'années - est insuffisant et inadapté, en raison d'une part de ses faibles capacités de freinage (coefficient de frottement très faible de la fonte), et d'autre part de la sollicitation thermique inacceptable qu'il génère au niveau des tables de roulement des roues. L'augmentation de la vitesse entraîne alors l'apparition sur les véhicules ferroviaires du frein à disques et du frein électromagnétique sur rail (patins magnétiques). Ces innovations vont, plus que la traction - le record à 331 km/h dès 1955 l'a montré - permettre une exploitation quotidienne à 200/210 km/h dans des conditions de sécurité et de coût acceptables.

Des années 60 à aujourd'hui, les progrès se sont donc essentiellement concentrés sur la dissipation - toujours plus importante avec l'augmentation de la vitesse - de l'énergie cinétique des trains, la commande en elle-même (frein pneumatique) ne faisant que peu de progrès. Seule l'apparition de l'assistance électrique du frein pneumatique WESTINGHOUSE (dite F.E.P., ou frein électropneumatique) et les progrès réalisés dans la conception et la fabrication des appareils pneumatiques ont permis d'améliorer sensiblement les performances en termes de temps de réponse et modérabilité. Mais les principes de base du frein pneumatique n'ont pas changé, et le frein WESTINGHOUSE équipe le TGV qui roule tous les jours à 320 km/h.

La commande électrique

Une autre innovation apparaît néanmoins dans les années 60 et 70, sous l'impulsion des exploitants de métro. En effet, le fort développement des transports urbains impose de recourir à une exploitation de plus en plus dense, qui va s'accompagner de l'équipement des lignes en pilotage automatique. Le frein pneumatique WESTINGHOUSE révèle alors ses limites, les temps de réponse intrinsèques de ce type de système (même associé à l'assistance électrique) étant incompatibles avec des arrêts très précis et des réactions rapides. C'est ainsi que naît le frein électropneumatique direct, à distinguer du F.E.P. en vigueur sur les matériels équipés du frein pneumatique.

Le principe est de remplacer la Conduite Générale pneumatique par des lignes de train électriques : l'idée n'est pas neuve, puisqu'elle nous ramène à l'invention d'Auguste ACHARD ! Mais les progrès techniques ont permis de fiabiliser l'utilisation de cette technologie, et la commande électrique se généralise sur tous les matériels urbains.

Côté actuation, la seule technologie disponible à l'époque reste la technologie pneumatique : la mise en œuvre des freins au niveau de chaque véhicule restera donc pneumatique, les temps de réponse locaux étant suffisamment courts au regard de la rusticité et surtout de la fiabilité de la technologie pneumatique.

Le frein électrohydraulique

Une variante apparaîtra cependant dans les années 70 sur les tramways, les exigences de compacité des étriers et de nouvelle réduction des temps de réponse sur ces véhicules - alliées au développement de l'hydraulique industrielle - ayant entraîné la généralisation du frein électrohydraulique, pour lequel la mise en œuvre des freins est assurée à l'aide d'un fluide hydraulique au lieu de l'air comprimé.

Et demain ?...

Comme nous avons pu le voir, l'évolution du freinage ferroviaire est faite d'une succession de petits pas, et peut paraître très lente en regard des progrès réalisés par la traction. Cependant, le freinage touche directement la sécurité même des circulations, et les freinistes se doivent d'être très prudents. Par ailleurs, l'essence même du freinage, la friction, présente des propriétés extrêmement variables et non linéaires qui rendent sa maîtrise très délicate alors que son utilisation constitue le seul gage de sécurité : le frein dynamique, plus aisé à réguler et sans usure, n'est de par son principe pas sécuritaire car incapable de garantir l'immobilisation du convoi à l'arrêt.

Les freinistes sont malgré tout condamnés au progrès permanent, tirés qu'ils sont par les besoins croissants en vitesses de circulation et en débit des lignes engendrés par la concurrence exacerbée des divers modes de transport. Diverses innovations se font jour à l'aube du 21^{ème} siècle, qui pourraient révolutionner le freinage ferroviaire :

- Dans le domaine de la friction, de nouveaux matériaux apparaissent (céramiques, aluminium renforcé, carbone, composites performants, etc...) dont certains pourraient trouver leur application en freinage ferroviaire pour augmenter les capacités de dissipation énergétique des disques de frein dans le même volume de matière, et surtout à un coût qui devra rester compétitif. Ces nouveaux matériaux devraient aussi permettre de réduire très sensiblement la signature acoustique des trains de fret, par l'installation de semelles de frein ne générant pas de crissement au freinage et supprimant le dépolissage des tables de roulement, fortement générateur de bruit lors des circulations.
- Dans le domaine de la commande, si l'électricité règne en maître dans les transports urbains, l'air comprimé reste de mise dans le transport grandes lignes et fret. Le palliatif de l'assistance électrique (F.E.P.) est certes séduisant pour les trains de voyageurs, dont les compositions sont peu souvent remaniées et dont l'entretien est souvent plus poussé que pour le matériel fret. Pour ce dernier, les problèmes de connectique entre véhicules ont jusqu'à présent relégué l'assistance électrique à quelques rares exceptions de compositions quasi-indéformables (trains de fret rapides à 160, voire 200 km/h). Une révolution est cependant engagée outre-Atlantique depuis le milieu des années 90, qui commence à se répandre aux USA, a déjà atteint l'Afrique du Sud et l'Australie (tous trois grands utilisateurs de trains de fret lourds et très longs), et pourraient arriver en Europe : il s'agit de la commande électronique pour train de fret. Deux technologies concurrentes ont été évaluées, l'une basée sur l'utilisation d'un bus informatique filaire pour transmettre les ordres de freinage en même temps de diverses données relatives à chaque véhicule (chargement, origine, destination, etc...), l'autre basée sur l'utilisation de la radio avec émission des ordres de freinage par la locomotive et répétition de ceux-ci de proche en proche par chaque véhicule équipé (avec possibilité de "sauter" un véhicule défaillant ou non équipé). La technologie radio a été abandonnée pour diverses raisons, et seules la technologie par bus filaire a fait l'objet d'un développement mené à terme, suivi d'une mise en service sur quelques applications.

La commande électronique pour train de fret devrait à terme se généraliser, tant ses avantages ont été démontrés maintes fois aux USA : distances d'arrêt réduites de 30% en moyenne (donc autorisant une augmentation de facto des vitesses de circulation), absence de réactions d'attelage dans les trains (donc réduction des risques de rupture des trains), meilleure pilotabilité du frein entraînant une moindre sollicitation, donc une réduction de l'usure des organes de friction – roues et semelles de frein dans le cas du matériel fret - en même temps qu'une moindre consommation d'énergie des engins de traction - qui au passage peuvent être pilotés en multiplexage via la commande électronique.

On le voit, les défis à relever restent encore importants, et nul doute que l'histoire du frein ferroviaire est loin d'être terminée, et s'annonce même passionnante !