Les débuts du courant « industriel » à la SNCF
Jean CUYNET
cuynet.jean@wanadoo.fr

Les premières tentatives d'utilisation du courant monophasé à la fréquence de 50 Hz en traction ferroviaire remontent aux débuts du XX^{ème} siècle. En 1904, Oerlikon teste une locomotive expérimentale fonctionnant sous 15 kV intégrant un groupe convertisseur Ward-Léonard. Six ans plus tard, la fréquence de 50 Hz est utilisée dans les mines Hiberna à Gelsenkirchen (Allemagne) et pour le tramway de Saint-Avoid mais avec des tensions et des puissances relativement faibles. Après s'être consacré au triphasé, De Kando fait construire par Ganz un engin d'essai comportant un groupe mono-triphasé qui circule dans la banlieue de Budapest en 1925.

Le seul moteur monophasé utilisable en traction ferroviaire est dérivé du type série, omniprésent en traction à courant continu. Ce moteur « direct » souffre de problèmes de commutation dus à la tension de transformation dans les spires mises en court-circuit par les balais. Ce phénomène s'accroît avec la fréquence. C'est pourquoi les premières lignes mises en service en Suisse, en Allemagne et en France sont alimentées en courant à la fréquence de 16 2/3 Hz.

En 1920, une décision ministérielle impose le courant continu 1500 V alors que nos voisins suisses et allemands électrifient leurs lignes en 15 kV, 16 2/3 Hz. Deux ans plus tard, une autre décision ministérielle oblige les différentes compagnies d'électricité à distribuer du courant triphasé à la fréquence de 50 Hz. En traction ferroviaire, chaque système a ses avantages et inconvénients. Une tension relativement basse en continu nécessite l'implantation de nombreuses sous-stations, une caténaire lourde et la transformation du triphasé en continu. Les pertes en ligne sont sensibles. Toutefois, le moteur série offre un fort couple au démarrage. En monophasé, les installations sont plus légères et plus simples mais il faut tenter de maîtriser les problèmes du moteur direct.

La Reichbahn utilisatrice d'un courant traction à 16 2/3 Hz doit établir son propre réseau de distribution. Pour éviter de lourds investissements, elle décide d'électrifier en courant de 20 kV 50 Hz la ligne du Höllental partant de Fribourg. Quatre prototypes sont livrés entre février et août 1936.

Numéro	Constructeur partie électrique	Particularités
E 244-01	AEG	Mono-continu à redresseurs
E 244-11	B.B.C.	Mono-continu à redresseurs
E 244-21	Siemens	Moteurs directs
E 244-31	Garbe-Lahmeyer	Mono-triphasé

Les deux machines à redresseurs font preuve de performances « entièrement satisfaisantes », celle de Siemens rencontre des problèmes avec ses 448 balais par moteur et la E 244-31 est handicapée par la complexité et la fragilité de son équipement. Néanmoins, toutes effectuent leur service en ligne avec le même taux de disponibilité que leurs consœurs alimentées en 16 2/3 Hz. Le bon rapport de 1940 contraste avec celui de 1944 : « il ne peut être donné d'appréciation d'ensemble satisfaisante après huit ans d'essais ». L'Allemagne veut unifier son parc et la ligne du Höllental est convertie au 15 kV 16 2/3 Hz en 1965.

Louis Armand, directeur du service Matériel et Traction de la région Ouest, pressent tout l'intérêt de l'utilisation du courant industriel en traction ferroviaire. En 1944, il réussit à envoyer un « mission occulte » en Allemagne. Après l'armistice de 1945, la ligne du Höllental se retrouve dans la zone d'occupation française. Louis Armand, devenu directeur du service central du matériel, impose la remise en état des installations. La machine Siemens à moteurs directs, gravement endommagée en 1943, reprend du service en 1948. Pour renforcer un parc traction insuffisant, AEG est chargée par la SWDE (Südwestdeutsche Eisenbahnen placée sous autorité française) de transformer la E 44005 en monophasé 50 Hz. Sous le numéro E 244-22, elle entre en service en janvier 1951.

La SNCF achète une automotrice double allemande avariée. Elle est transformée pour le courant 20 kV 50 Hz par Siemens et fait ses premiers essais en juillet 1950. Chaque élément pouvant circuler séparément comporte un bogie avec deux moteurs directs. Une remorque intermédiaire baptisée « salle de conférence » peut être associée à cet ensemble qui prend les numéros Z 9053 et Z 9054. Ces initiatives sont prises sous l'impulsion de Louis Armand alors directeur général de la SNCF. Une poignée d'ingénieurs espère maîtriser les problèmes posés par la traction en monophasé et tout particulièrement, par le fonctionnement du moteur direct sous 50 Hz.

La CC 20001, ex CC 6051 remise dans son état d'origine est la première machine française bien que construite en Suisse destinée au courant à la fréquence de 50 Hz. Elle est équipée de moteurs directs et peut se déplacer sous courant continu mais à faible puissance (photo B Delahaye).

Il est décidé d'électrifier la ligne Aix-les-Bains à La Roche-sur-Foron en courant monophasé 20 kV 50 Hz. La SNCF passe commande de machines pouvant également circuler sous caténaires 1 500 V continu. Beaucoup de techniciens sont sceptiques tant à la SNCF que chez les constructeurs. Cependant Oelikon relève le défi en réalisant spécialement un moteur monophasé série-compensé à 16 pôles avec champ de commutation déphasé par un shunt ohmique de commutation. Une locomotive est assemblée chez SLM Winterthur et livrée le 9 septembre 1950 à

Chambéry. Les essais commencent aussitôt. Les problèmes de commutation font l'objet de contrôles très poussés. En charge maximum, les étincelles aux balais disparaissent à partir de 20 km/h (limite de commutation « noire »).

En 1950, une mission se rend aux USA sous l'égide de l'OECE (Organisation Européenne de Coopération Économique). Les délégués français sont particulièrement intéressés par les redresseurs ignitron. Hyppolite Parodi, principal artisan de l'électrification en 1500 V continu du Sud-Ouest, avait recommandé l'équipement complet d'une locomotive pour « montrer qu'une BB à redresseurs pouvait être aussi puissante qu'une CC à moteurs directs ». La mission française est fortement impressionnée par quelques « monstres » mono-triphasés à groupes tournants dont le plus gros atteint 454 tonnes !

Le poste de conduite, très proche des machines à courant continu, se caractérise par les six appareils de mesure placés au-dessus du volant du manipulateur de traction. La batterie d'interrupteurs est un équipement standard comme les manomètres du dispositif de freinage. Le Flaman, appareil indicateur de vitesse et enregistreur se place dans l'angle gauche de la cabine (photo J Cuynet)

En octobre 1951, le congrès d'Annecy marque une étape importante. Les principaux acteurs et partenaires de cette aventure sont réunis sous la présidence de Louis Armand. Hippolyte Parodi se montre favorable au courant monophasé à 50 Hz. Il juge réalisable une traction purement monophasée tout en souhaitant le développement de solutions mono-continu à redresseurs ou de convertisseurs tournants en mono-triphasé et mono-continu.

Dans son intervention, Marcel Garreau, Chef de la Division des Études de Traction Électrique (DETE) à la SNCF, souligne les risques de déséquilibres provoqués sur les réseaux triphasés par des prélèvements de puissances monophasées et la diminution du facteur de puissance due aux moteurs directs. Par contre, il met en évidence l'intérêt économique du courant industriel qui permet l'électrification de lignes au trafic insuffisant pour amortir les coûts du continu 1500 V. Fernand Nouvion, ingénieur principal à la DETE, fait une longue comparaison continu – monophasé. Il démontre que les machines française à courant continu sont supérieures à leurs homologues fonctionnant sous 3000 V (Italie et Belgique) ou monophasé à fréquence réduite (16 2/3 Hz). En 50 Hz, il considère que les moteurs directs ne permettront pas la remorque des trains de marchandises les plus lourds et place de grands espoirs dans les systèmes mono-continu.

Ces journées d'information se déroulent alors que le premier tronçon de la ligne allant d'Aix-les-Bains à Annecy n'est sous tension que depuis le mois de juin 1950. Quatre locomotives (E 244-22, CC 6051, CC 6052 et BB 8051) et trois rames

automotrices (Z 9051, Z 9053/54 et Z 9055) sont en essai ou en attente de livraison. Seuls les premiers résultats de la CC 6051 sont disponibles. Durant quelques mois, cette machine est transférée sur la ligne du Höllental où elle affiche des performances nettement supérieures au cahier des charges. Ces résultats honorables sont à l'origine d'une petite commande d'engins similaires, les CC 25001 à 25009.

Engin laboratoire à transformations multiples, la BB 8051 est de type mono-continu à redresseurs (doc M Combrexelle).

Prototype raté à groupe tournant, la BBB 6053 est rapidement convertie au seul courant continu (doc M Combrexelle).

Prototypes Savoie :

Numéro initial	Numéros ultérieurs	Constructeur partie électrique	Particularités
CC 6051	CC 20001	Oerlikon	Moteurs directs
CC 6052	CC 20002	Alsthom	Moteurs directs
BB 8051	BB 10001 BB 20006	Alsthom	Mono-continu à redresseurs
BBB 6053	BBB 20003	MTE	Mono-continu par groupe tournant
Z 9051	-	Oerlikon	Moteurs directs
Z 9052	-	MTE	Moteurs directs
Z 9053/54	Z 6001 et 2	SWDE	Moteurs directs
Z 9055	Z 6004	Westinhouse	Mono-continu par redresseurs

Les conclusions de ce congrès sont un peu contradictoires. Le moteur direct fait l'objet de longs développements. Malgré l'énoncé de ses points faibles, il semble apparaître comme une technologie d'avenir. Néanmoins, les autres systèmes doivent être développés, en particulier pour la traction des trains lourds. Les résultats de l'exploitation du Höllental avant-guerre ou sous la tutelle française ne sont pas évoqués. La tension devra passer à 25 kV, modification devenue effective en 1953.

Un équipement peu fiable provoque le retrait prématuré de la CC 6052, transformée en engin d'essai.

Le cas de la Z 9055 est très particulier. C'est à l'époque une automotrice âgée de près de 40 ans. Affectée à la banlieue de la gare Saint-Lazare, elle est équipée pour capter du 750 V continu délivré par un rail latéral. Un transformateur et des ignitrons arrivent des USA en août. Les moteurs d'origine sont conservés et l'équipement équivalent à une sous-station est monté sans la moindre notice explicative. Les premières marches ont lieu début octobre. Présentée à Annecy en compagnie des CC 6051, E-244-22, BB 8051 et Z 9053 / 9054, elle paraît être la « Cendrillon » de la ligne. Cependant, cet engin désuet, hâtivement équipé, va se monter être le meilleur compromis technologique de l'époque.

Construite hâtivement à partir d'une rame fonctionnant en 750 V continu, la Z 9055 est dotée de redresseurs ignitrons. Ses concepteurs craignent qu'elle disparaisse prématurément. Elle montre une fiabilité supérieure aux autres prototypes testés en Savoie et ouvre la voie aux futures BB 12000 (doc M Combrexelle).

Les autres prototypes ont moins de chances. Les automotrices Z 9051 et 9052 d'origine du Sud-Ouest n'ont pas descendance, tout comme les Z 9053 / 9054. La CC 6052 fait une carrière émaillée d'incidents, trahie par un équipement électrique déficient. En 1969, elle est transformée en véhicule d'essai de hacheurs. La BB 8051, machine laboratoire, teste plusieurs types de redresseurs avant le montage de thyristors lui permettant de circuler à la même puissance sous courant continu ou monophasé. Elle disparaît à la suite de l'incendie de son transformateur. La moins réussie est certainement la BBB 6053. Son groupe tournant mono-continu ne fonctionne bien qu'au banc d'essai. Un arbre de 15 m de long reliant un moteur synchrone et trois génératrices fournissant le courant continu aux moteurs de traction est une aberration mécanique. Elle est rapidement transformée en machine à courant continu.

Alors que se termine le congrès d'Annecy, la SNCF étudie l'électrification de l'artère Nord-Est, reliant les mines de charbon du Nord à la sidérurgie lorraine. Cette ligne difficile voit circuler de lourds trains tractés par une pléthore de puissantes mais gourmandes machines à vapeur. Ce projet soutenu non sans peine par Louis Armand et une poignée de fidèles s'accompagne de la commande de quatre séries de machines monophasées. Cette décision fait peu de cas de l'expérience acquise au Höllental et en Savoie. Elle démontre l'incertitude des techniciens.

Les premières commandes concernant quatre-vingt-cinq engins sont passées en 1952 :

- Cinq BB 12000 mono-continu avec des redresseurs ignitron ;
- Quinze BB 13000 à moteurs directs ;
- Vingt CC 14000 à groupe tournant mono-triphasé ;
- Soixante-cinq CC 14100 à groupe tournant mono-continu.

Cette dispersion est partiellement compensée par l'unification de la construction mécanique et des auxiliaires. Les CC sont réservées au trafic marchandises lourd à la vitesse maximale de 60 km/h. Les BB doivent être aptes à un service mixte, marchandises et voyageurs. L'artère Valenciennes –Thionville est mise sous tension entre juillet 1954 et août 1955. Les BB 12001, BB 13001 et 14101 sont livrées en juillet 1954 au dépôt de Mohon et les essais commencent aussitôt. La CC 14001 est reçue en janvier 1955.

L'aspect extérieur est représentatif de la volonté d'unification. Pour réduire les coûts, toutes les machines sont à cabine centrale. Le poste de conduite est utilisable dans les deux sens de marche. Cette concentration permet d'éviter des commandes à distance qui, pour l'essentiel, sont à la portée directe du mécanicien. Par contre, elle interdit la marche en unités multiples (couplage de plusieurs machines confiées à un seul mécanicien). Deux châssis, un pour les CC, l'autre pour les BB, deux types de bogies malgré des moteurs différents et la plupart des auxiliaires sont à l'origine d'un « air de famille » bien particulier. Enfin, une livrée bleue, inhabituelle pour des engins de traction, complète l'esthétique spécifique des « fers à repasser » du Nord-Est.

L'importance des commandes initiales reflète les préoccupations du moment. Les BB 12000 à redresseurs sont suspectées de créer des perturbations dans les circuits téléphoniques et des harmoniques. D'autre part, certains s'inquiètent de l'achat d'ignitrons au USA et de leur comportement en service. Les espoirs placés dans les moteurs directs des BB 13000 perdurent malgré des difficultés technologiques que personne n'ignore.

Le type CC s'impose pour les machines à groupes tournants devant posséder une masse adhérente importante. Avec 123 et 127 tonnes, ces deux séries respectent sensiblement la charge de 20 tonnes à l'essieu. La conception de la chaîne de traction des CC 14000 semble avoir été influencée par les expériences hongroises alors que celle des CC 14100 évoque des réalisations américaines.

Les groupes convertisseurs tournants mono-continu équipant les CC 14100 sont dérivés du système Ward-Léonard. Cet appareillage fréquent dans le monde industriel répond aux applications exigeant une grande souplesse et une grande marge de réglage. Un moteur monophasé synchrone est alimenté par un transformateur de rapport fixe. Il entraîne deux génératrices à courant continu à excitation séparée. Le réglage de l'excitation permet de faire varier à volonté la tension continue délivrée aux moteurs de traction qui restent branchés en parallèle.

Les génératrices à excitation anti-compound permettent d'éviter toute surcharge du moteur synchrone. La réduction automatique de l'excitation des moteurs de traction se fait par une excitation séparée dite « anti-shunt » ce qui permet de ne pas augmenter le diamètre des moteurs. Ces dispositions sont destinées à faciliter la conduite de la machine et réduisent les tendances au patinage. Le fonctionnement en récupération / freinage ne pose aucun problème.

Au démarrage, une génératrice auxiliaire entraîne le moteur jusqu'à l'approche de la vitesse de synchronisme. En ligne, la puissance reste constante pour chaque cran de marche. L'alimentation des moteurs persiste tant que le groupe est en rotation. Pantographes baissés, une CC 14100 peut encore manœuvrer dans son dépôt durant plusieurs minutes. L'effort de traction en régime continu est de 23 tonnes. Il est encore de 11 tonnes à la vitesse limite de 60 km/h.

Les problèmes rencontrés touchent la mauvaise ventilation du moteur synchrone, la fragilité des groupes convertisseurs et les effets des entrées de neige ou de pluie. Le bon comportement des premières unités est à l'origine de commandes complémentaires qui portent la série à 102 unités. Les dernières CC 14100 sont radiées en 1997 après une fin de carrière en demi-teinte due à la disparition progressive du trafic lourd pour lequel elles avaient été conçues.

La CC 14161, retirée du service, finit ses jours en « pot de fleurs » (photo F Rusé).

La CC 14018 remise en état d'origine est préservée (photo F Rusé).

Les CC 14000 sont nettement plus complexes. L'emploi de moteurs asynchrones triphasés présente de grands avantages mais aussi de sérieuses contraintes. Peu encombrants, simples et sans collecteur ou bagues, ils demandent une alimentation triphasée à tension et fréquence variables. Les réalisations précédentes avaient utilisé le principe de la modification du nombre de pôles pour régler la vitesse de rotation des moteurs. Cela imposait des moteurs volumineux à rotors bobinés reliés à des rhéostats liquides pour passer d'une vitesse de synchronisme à une autre. C'était le cas de la première locomotive De Kando. Les suivantes possédaient un convertisseur de fréquence donnant cinq valeurs allant de 25 à 125 Hz. Les moteurs étaient plus petits mais leurs rotors toujours reliés à des rhéostats. Le prototype E 244-31 de Garbe-Lahmeyer construit par Krupp utilisait des moteurs Schön intégrant un convertisseur de phases. Chaque essieu portait un moteur spécial et un moteur triphasé ordinaire. En combinant les deux, il était possible d'obtenir trois vitesses économiques. Ce montage manquait de fiabilité.

Pour les CC 14000, il s'agit d'obtenir une variation continue de la fréquence par des moyens mécaniques. Cela se fait grâce à deux groupes tournants. Le premier comporte un convertisseur de fréquence relié à un moteur à courant continu. Ce dernier est alimenté par une génératrice

à courant continu entraînée par un convertisseur de phase synchrone. Le système de réglage de la vitesse est particulier : à chaque cran du manipulateur correspond un couple déterminé des moteurs de traction. La fréquence dans les moteurs suit la vitesse de rotation et le convertisseur de fréquence s'y adapte. Imposer un couple aux moteurs de traction revient à l'imposer au moteur à courant continu du convertisseur de fréquence. Cela se fait par un réglage non de la tension mais de l'intensité.

La fréquence du courant alimentant les moteurs de traction varie entre 0 et 135 Hz alors que le groupe convertisseur de phase passe de -750 tr/mn à $+1275$ tr/mn. La transition se produit à la fréquence de 50 Hz correspondant à 23 km/h. Le convertisseur de phases et le moteur continu se conduisent en génératrices de 0 à 50 Hz puis en moteur au-delà. Le phénomène inverse se produit pour la génératrice continu et le convertisseur de fréquence. Le freinage par récupération suit un processus symétrique.

Le lancement, sans prototype, d'une machine aussi novatrice est hasardeux. Cet équipement complexe va rencontrer de nombreux déboires. Les groupes convertisseurs connaissent des pannes à répétition. Les persiennes de ventilation sont modifiées à plusieurs reprises pour limiter les pénétrations d'eau ou de neige. Les moteurs de traction sont montés sur des paliers lisses donc sujets à une usure relativement rapide. Pour obtenir un bon rendement, l'entrefer de ces moteurs doit être aussi faible que possible. Ces deux facteurs contradictoires sont à l'origine de multiples détresses en ligne.

Ces engins puissants mais délicats sont rapidement cantonnés dans une zone géographique limitée entre le Nord et Paris. Ils sont confiés à des conducteurs

expérimentés souvent accompagnés d'un dépanneur ! Les dernières unités n'effectuant plus qu'un service sporadique sont radiées en 1981.

La BB 13052, elle aussi préservée, stationne sur le pont tournant du dépôt de Mohon (photo F Rusé).

Lors de l'établissement du cahier des charges, Fernand Nouvion adjoint de Marcel Garreau à la DETE, impose des schémas « à un fil ». C'est ainsi que l'on peut caractériser les BB 13000. Il est difficile de faire plus simple ! Un autotransformateur actionné par un gradateur à commande mécanique délivre une tension variable au transformateur relié directement aux moteurs de traction. Le succès dépend directement du fonctionnement de ces derniers.

Le choix du constructeur est assez original. Pour équiper le réseau du Bas-Congo-Katanga en 50 Hz, les ateliers de Charleroi redécouvrent les propriétés des connexions résistantes pour permettre des marches lentes avec un moteur direct. Les premiers engins entrent en service à la fin de 1950 ce qui intéresse vivement la DETE. Jeumont, proche de ateliers de Charleroi, obtient la commande au détriment d'Oerlikon.

L'ensemble transformateur – gradateur est dérivé d'un appareil BBC prévu pour la fréquence de $16 \frac{2}{3}$ Hz. Pour les quinze premières machines, chacun des quatre moteurs développe une puissance de 501 kW. Ceux des séries suivantes font 534 kW. Dotés de dix-huit pôles non compensés, ils nécessitent trois cent soixante balais par collecteur. Des résistances sont intercalées entre les lames du collecteur et les bobinages de l'induit. Elles sont chargées de réduire l'importance des courants de court-circuit. L'utilisation du 50 Hz donne un flux par pôle sensiblement plus faible qu'avec la fréquence de $16 \frac{2}{3}$ Hz ce qui rend cette disposition intéressante. Les connexions résistantes doivent limiter l'échauffement des balais et améliorer leur tenue durant les phases de démarrage. Pour régler la commutation, il est fait appel à un shuntage combiné : résistances et capacités à basse vitesse, résistances et inductances à grande vitesse. Les capacités contribuent à l'amélioration du facteur de puissance.

Aux essais, ce moteur fait preuve d'un bon comportement. Il supporte mieux que d'autres un blocage mécanique du rotor et une marche prolongée à très basse vitesse. Les spécifications du cahier des charges sont dépassées. Plusieurs commandes complémentaires portent l'effectif final à cinquante-trois machines. Elles prennent en charge des trains légers, voyageurs ou messageries plutôt que de lourds convois de marchandises. Cela permet d'utiliser au mieux les capacités des moteurs directs dont le fonctionnement à basse vitesse est moins satisfaisant. Ces moteurs vieillissent très mal et des BB 13000 sont retirées du service durant les années 1980. Le dernier mouvement a lieu en janvier 1994. Les suites de cette technique se limitent à quelques automotrices construites pour le Portugal.

Diagramme de la BB 12000, type mono-continu à ignitrons.

En avril 1958, la BB 12039 encore neuve est affectée au dépôt de Dole. Elle assure les premiers trains en traction électrique en direction de la Suisse (col J Cuynet).

La solution mono-continu par redresseurs, déjà employée avec un certain succès au Höllental, en Savoie avec les Z 9055 et BB 8051 mais aussi aux USA en 25 Hz est accueillie avec un peu de réserves, voire de scepticisme. Les Houillères de Lorraine électrifient deux embranchements en 25 kV 50 Hz et mettent en service en 1953 deux locomotives à ignitrons d'une puissance de 550 kW. La BB 12001 arrive à Mohon le 17 juillet 1954. Les essais se déroulent sur la seule portion déjà électrifiée : Valenciennes – Lumes. Alors que les spécifications prévoient la traction de trains de 750 tonnes en rampe de 10 ‰, les premières marches montrent des performances nettement supérieures : 1 100 tonnes puis 1 400 tonnes. La BB 12006 qui possède un rapport d'engrenages différent enlève 2 000 tonnes. Au cours des

essais, l'effort maximum aux jantes atteint 41 tonnes, valeur hors du commun pour un engin de 84 tonnes.

Ces résultats sont une des conséquences de la chaîne de traction. Après le gradateur et le transformateur, le courant monophasé est redressé par huit ignitrons alimentant des moteurs série. Des selfs de lissage permettent d'obtenir un courant « ondulé » bien accepté par les moteurs. Le « décollage » de lourdes rames en rampe sur rail humide se fait avec une faible accélération. Les moteurs acceptent des surcharges très importantes, 1 800 Ampères au lieu de 1 000 prévus. Les machines à moteur monophasé ne sont pas capables de soutenir un tel effort pendant de longues durées, pas plus que les machines à courant continu à cause de l'échauffement des résistances de démarrage. Les études théoriques avaient prévu que le montage des moteurs en parallèle avec redresseurs formerait un système « d'antipatinage ». L'examen des films tournés durant ces essais confirme ces hypothèses. Pour une machine à courant continu, le glissement d'un essieu se transforme en emballement. Avec les BB 12000, le glissement ne dure pas. Après une fraction de tour en glissement, la jante « accroche » de nouveau au rail. Les charges remorquables sont fixées à 1756 tonnes en rampe de 10 ‰ et 2885 tonnes en 5 ‰. Les roulements des BB 12000 s'intègrent dans ceux des CC 14100 ce qui ne les empêche pas de tracter des omnibus ou express.

Les craintes sur les effets néfastes des harmoniques et les perturbations des lignes téléphoniques sont levées. Ils restent très en deçà des limites autorisées. Ces machines n'ont que quelques défauts ne touchant pas la partie électrique : un mauvais freinage, une cabine inconfortable (comme celles des autres séries) et l'impossibilité de marche en unités multiples.

Groupe redresseur à diodes de BB 12000 (doc M Combrexelle).

Devant cette réussite, les commandes se succèdent. Le parc est porté à 148 engins ; 20 autres sont destinés aux CFL (Chemins de Fer Luxembourgeois). Les BB 12134 à 12148 sont livrées neuves équipées de « redresseurs secs » ; les diodes remplacent les ignitrons. Au fur et à mesure des passages en révision, une large partie de l'effectif bénéficie de cette modernisation. Incroyables mais dépassées, elles s'effacent progressivement devant l'arrivée d'une nouvelle génération de motrices : les BB 26000 Sybic (Synchrone bicourant). Les dernières unités sont arrêtées le 31 décembre 1999.

Des BB 12000 sont envoyées sur les dures rampes jurassiennes. En hiver, elles renforcent le parc savoyard où les BB 13000 se montrent peu performantes. D'autres sont envoyées en Normandie. Elles participent à de nombreux essais qui amènent deux d'entre elles jusqu'en Roumanie.

Hors le Luxembourg, cette série ne s'exporte pas. Cependant, la chaîne de traction à redresseurs va connaître un long développement. En 1955, la SNCF pulvérise le record du monde de vitesse sur rail avec deux machines à courant continu : les BB 9004 et CC 7107 sont créditées de 331 km/h. Cet événement a plusieurs conséquences. Il est prouvé que le courant continu à 1 500 V ne permettra pas de très grande vitesse au quotidien. Il est aussi démontré que la formule BB autorise des performances au moins égales à celles des CC. La combinaison du bogie Jacquemin de la BB 9004 aux performances des BB 12000 ouvre la voie à tout un ensemble de machines de vitesse ou mixtes. Parallèlement, la SNCF met en service des machines mixtes ne comportant qu'un moteur par bogie. Un dispositif mécanique donne deux allures de marche : marchandises ou voyageurs. Cette disposition est longuement déclinée sur plus de huit cents engins. Le compromis adopté pour les BB 12000 s'avère être la meilleure réponse du moment associant un transport de l'énergie à moindre coût au moteur série à courant continu dont la technologie est bien maîtrisée. C'est aussi la porte ouverte aux machines capables de circuler sous plusieurs types de courants.

La France teste un grand nombre de prototypes bicourants, bifréquences, tricourants et quadricourants. L'Europe pourrait ne plus avoir de frontières électriques. C'est compter sans la frilosité des administrations et le chauvinisme des politiques. En 1951, il est prévu une large pénétration du 25 kV 50 Hz en Allemagne qui n'aura jamais lieu. Les machines polycourants sont souvent arrêtées à la frontière ou ne sont autorisées qu'à de modestes incursions. L'Europe des chemins de fer tarde à se mettre en place.

L'importante série des BB 16500 reprend la chaîne de traction des BB 12000 mais avec des bogies monomoteurs à double réduction de vitesse. Cette formule sera longuement reproduite (col J Cuynet).

Cependant, la formule fait école. L'industrie française livre des machines à redresseurs de type CC à l'URSS et à la Chine, des BB au Portugal et en Inde. Le principe du courant redressé par ignitrons est développé au Japon, dans des mines allemandes, en Angleterre, en Tchécoslovaquie et en Bulgarie. L'emploi de diodes se généralise en Grande-Bretagne, URSS, Turquie, Yougoslavie, RDA, Afrique du Sud et Bulgarie sans compter les autres fréquences, 25 Hz et 16 2/3 Hz qui emploient des chaînes de traction similaires.

En France, les thyristors font leur apparition dans des chaînes de traction qui conservent le principe des machines mono-continu à redresseurs. Les TGV Sud-Est sont les derniers engins de traction ferroviaire français équipés de moteurs à courant continu. Depuis, les progrès de l'électronique de puissance permettent la traction mono-triphasée à moteur synchrone et asynchrone.

L'exemple français est à l'origine de nombreuses électrifications en courant industriel grâce au « Groupement européen monophasé 50 Hz ». Créé en 1954, cette association de constructeurs électriciens rassemble Alsthom, Jeumont, Schneider-Westinghouse pour la France, Siemens et AEG pour l'Allemagne, BBC et Oerlikon pour la Suisse. Les Ateliers de Charleroi rejoignent le groupement en 1956. Durant une trentaine d'années, en mettant en commun leurs potentialités, ces entreprises sont à l'origine de commandes se montant à mille cent locomotives et plusieurs milliers de kilomètres de lignes électrifiées dans le monde entier.

Jean CUYNET

Références :

Revue : La vie du Rail, Revue Générale des Chemins de Fer, Chemins de Fer, Voies Ferrées.

Ouvrages :

- Histoire de la traction électrique, Yves Machfert-Tassin, Fernand Nouvion et Jean Woimant, éditions La Vie du Rail.
- Les locomotives monophasées du Nord-Est, Pascal Dumont, éditions du Cabri.
- Cours de traction électrique, Marcel Garreau, éditions scientifiques Riber.
- La traction électrique en France, Jean Cuynet, éditions La Vie du Rail,

Dessins et diagrammes : Jean Cuynet.