

LA TBL

ET SON ÉVOLUTION

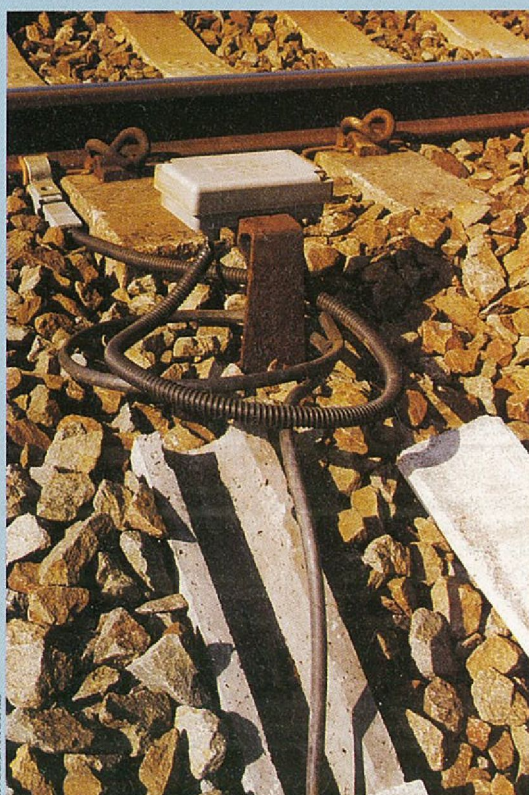
LES APPLICATIONS RÉCENTES DE L'ÉLECTRONIQUE À LA SIGNALISATION EN LIGNE

L. GILLIEUX

Depuis les origines du chemin de fer, la sécurité a toujours été une des préoccupations essentielles de tous les cheminots, tant ceux qui sont en charge du développement, de l'amélioration des techniques et de l'organisation ferroviaire que les responsables de l'exploitation quotidienne des trains. Au même titre que les efforts portant sur l'accroissement des performances et de la productivité, l'amélioration de la sécurité des circulations a toujours fait l'objet d'une recherche constante de perfectionnements. Ceux-ci ont touché aussi bien les infrastructures que le matériel.

Dans ce cadre, nombre d'efforts ont été consacrés depuis plusieurs années à des recherches en matière de signalisation, dans la double perspective d'accroître encore sa sécurité tout comme ses performances en termes de vitesses autorisées et de débit des lignes. Ces recherches, conjuguées aux possibilités offertes ces derniers temps par l'évolution de l'électronique, ont conduit à développer un nouveau

système de signalisation : la TBL ou transmission balise locomotive. Faisons donc le point sur cette importante innovation qui sera progressivement mise en application en plusieurs endroits de notre réseau ainsi que sur notre nouveau matériel.



SNCF/D. MOINIL

TBL : DÉTAIL DE L'ÉQUIPEMENT AU SOL



PHOTOS SINGRID MONTEIL

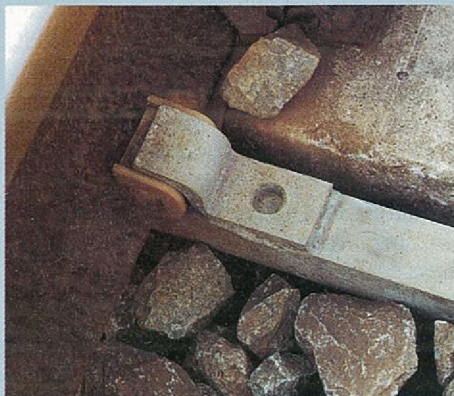
▲ ÉQUIPEMENT À BORD DU POSTE DE CONDUITE DE L'AUTOMOTRICE D'ESSAIS



▲ «CAB-DISPLAY» : ÉCRAN VISUALISANT LES DONNÉES TRANSMISES PAR LE SYSTÈME DE SIGNALISATION

◀ AUTOMOTRICE D'ESSAIS

▼ DÉTAILS DE L'ÉQUIPEMENT AU SOL



LA SIGNALISATION FERROVIAIRE

Ensemble de véhicules guidés par les rails, le train ne peut dévier de sa trajectoire en face d'un obstacle. Cet élément, conjugué au faible coefficient de frottement roue d'acier/rail d'acier (qui représente un atout fondamental du rail en termes d'économies d'énergie) et aux masses importantes mises en mouvement (jusqu'à près de 2 000 tonnes parfois) ont toujours conduit les responsables de la circulation des trains à prévoir des distances d'arrêt assez longues. Et, partant, à prévenir suffisamment tôt les conducteurs pour que ceux-ci prennent les mesures nécessaires en vue de réduire la vitesse de leur train afin de pouvoir s'arrêter à l'endroit requis (gare, approche d'une jonction de deux voies, croisement, etc.).

De plus, lorsque deux ou plusieurs trains attendent le départ vers une même voie, il s'agit de donner à chacun de leurs conducteurs les indications appropriées en évitant toute confusion possible de la part de ceux des autres trains.

L'on comprend dès lors aisément que la signalisation ferroviaire repose sur une organisation fort complexe, laquelle se traduit par des signaux de différentes catégories pouvant présenter diverses indications, à chaque fois bien spécifiques : signaux d'arrêt ou d'avertissement (autorisant le passage à vitesse normale ou indiquant des restrictions, voire l'arrêt au signal suivant), signaux de «grand mouvement» (pour les circulations normales) ou de «petit mouvement» (pour les manœuvres), ralentissements permanents ou temporaires (en cas de travaux, par exemple) à certains endroits, etc.

UNE ATTENTION DE TOUS LES INSTANTS

L'observation des indications de tous ces signaux par le conducteur et l'obéissance stricte qui leur est due sont bien entendu essentielles. Cela suppose, de la part des conducteurs, un excellent niveau de connaissance de la signalisation en général et des caractéristiques spécifiques des lignes qu'ils sont amenés à parcourir. Cela requiert aussi leur attention de tous les instants, compte tenu de la vitesse de leur train et de la charge qu'ils remorquent : de jour comme de nuit, par temps de brouillard, de chute de neige ou lorsque le soleil est bas, que ce soit en pleine ligne ou lors de la traversée de gares pouvant présenter de multiples signaux destinés à différents trains.

Au fil du temps, les signaux à palettes des origines ont été équipés de lentilles de couleurs différentes. La position variable de la palette amenait une de ces lentilles en face d'une lampe à huile, remplacée au cours des années par une ampoule électrique. Vint ensuite, pour les signaux lumineux, la quasi-généralisation des panneaux fixes noirs bordés d'un liseré blanc et comportant plusieurs feux différents, accompagnés ou non d'autres indications en fonction des besoins.

RÉPÉTER LES SIGNAUX DANS LES POSTES DE CONDUITE

Toutefois, face à la croissance continue du nombre des trains, à la complexité des mouvements ainsi qu'à l'augmentation des vitesses, on s'efforça de trouver un système répétant les signaux à bord des postes de conduite pour améliorer la sécurité des circulations. Ce besoin se manifestait d'autant plus qu'apparaissait la conduite par agent seul sur les locomotives modernes comme sur les autorails et automotrices, qu'il fallait également faire face à d'éventuelles défaillances du conducteur, au-delà même de la quasi-généralisation de la veille automatique sur les engins de traction. Le fait de coupler cette répétition à certaines réactions obligatoires du conducteur permettait en outre de vérifier que celui-ci avait bien perçu le signal le concernant ainsi que ses indications, et qu'il en déduisait les comportements requis, garantissant en permanence la sécurité de la circulation du train. Les recherches conduisirent à un premier système créant une interaction entre un équipement dans la voie, relié à un signal et les engins de traction : le «crocodile».

LE CROCODILE

Apparu en 1930 et généralisé progressivement, le crocodile est un appareil métallique allongé, installé dans l'axe de la voie, à proximité immédiate de la majorité des signaux. Il assure entre autres une fonction de répétition des indications de la signalisation à bord du train. Sa partie centrale est constituée de plusieurs lamelles ondulées placées côte à côte. C'est peut-être cette forme, liée à l'aspect allongé et bas de cet appareil qui lui a valu ce surnom bien imagé ! Il est mis sous tension positive, négative ou hors tension en fonction de l'aspect du signal auquel il est couplé. Au passage du train, un balai métallique situé sous l'engin de traction frotte sur le crocodile et perçoit sa position, ce qui entraîne certaines conséquences dans le poste de conduite :

Le «crocodile» est apparu en 1930; c'est un système créant une interaction entre un équipement dans la voie, relié à un signal et les engins de traction.

Tension négative : celle-ci correspond au feu vert et déclenche un coup de gong en cabine, ce qui signifie que le conducteur peut continuer normalement sa route.

Dans le même temps, cela provoque une inscription particulière sur la bande d'enregistrement de l'engin de traction;

Tension positive : elle correspond à une indication restrictive sur le signal. Double jaune, indiquant que le signal suivant est rouge, ou combinaison de vert et de jaune (horizontal ou vertical), ce qui signifie certaines restrictions de vitesse au signal suivant. Outre l'inscription d'un autre signe sur la bande d'enregistrement, cette tension déclenche un sifflet en cabine et provoque l'allumage fixe d'une lampe jaune sur le tableau de bord.

Le conducteur doit alors appuyer sur un bouton-poussoir particulier (dit «de vigilance») pour marquer le fait qu'il est attentif.

S'il ne le fait pas, la lampe jaune clignote sur son pupitre de conduite et, après quatre secondes, le freinage d'urgence du train se déclenche automatiquement.

Il évite celui-ci par l'appui sur le bouton de vigilance et en effectuant lui-même le freinage que les indications du signal lui ont données. La lampe jaune clignotante devient alors fixe et reste allumée jusqu'au passage devant un signal vert suivant accompagné d'un crocodile;

Absence de tension : cela correspond au feu rouge. Il n'y a pas d'indication spécifique en cabine car, au vu de ce qui précède, le système a été conçu pour que les fonctions de ralentissement et d'arrêt soient commandées et exécutées avant d'arriver au feu rouge.

VERS LA TBL

Bien que très utile, ce système comporte cependant certaines limites liées à ses caractéristiques techniques. Ainsi, ne donnant que deux indications, il ne permet pas de distinguer entre les diverses restrictions pouvant être présentées par un signal avertisseur. De plus, il ne peut intervenir en cas de dépassement d'un feu rouge et ne contrôle pas la vitesse du train. Or, la densification des circulations dans plusieurs zones ou nœuds du réseau tout comme les augmentations de vitesse réalisées ou en prévision sur certaines sections de ligne rendaient hautement souhaitable la mise au point de systèmes plus performants pour la répétition des signaux à bord des engins de traction. Des recherches menées dans cette direction débouchèrent, dans les années 80, sur un nouveau système de répétition des signaux, appelé TBL, pour transmission balise locomotive. En outre, les progrès récents de l'électronique ont

permis de développer le système de base – appelé TBL 1 – et de l'enrichir de nombreuses informations très utiles, entre autres pour la pratique des grandes vitesses (200 km/h et au-delà). Ces développements ont alors été appelés TBL 2 et TBL 3, en fonction des caractéristiques des équipements intervenant dans le système.

LA TBL 1

Comme le dispositif «brosse/crocodile», il s'agit d'un système d'aide à la conduite, mais plus performant. Il est basé sur le principe de la transmission d'un signal électrique codé entre une balise, en fait installée dans la voie, et une antenne logée sous la locomotive, qui reçoit le signal et le dirige vers l'équipement de bord assurant son décodage et sa traduction en informations utiles pour le conducteur.

LA BALISE ET L'ÉQUIPEMENT AU SOL

La balise est constituée d'un cadre en acier inoxydable, de 80 cm de long, recouvert à ses extrémités de deux plaques métalliques de protection. Elle est placée entre les rails, à hauteur du signal qu'elle répète et elle est décentrée par rapport à l'axe de la voie pour tenir compte du sens de circulation.

Via un câble, elle reçoit les informations traitées par un codeur situé dans une loge de signalisation. Ce codeur obtient lui-même ses informations au niveau des lampes du signal dont il assure la répétition. Les informations codées en fonction de l'état du signal sont alors transmises via la balise qui émet en permanence un signal électrique d'une fréquence bien déterminée, contenant les informations spécifiques.

LES ÉQUIPEMENTS DE BORD

Le message capté par l'antenne de l'engin de traction est envoyé vers un appareillage de décodage (des micro-calculateurs travaillant en parallèle, pour une sécurité maximale) qui identifie les informations reçues, les valide, les traite et les transmet au poste de conduite. Le conducteur les reçoit alors et adopte les comportements prescrits. En l'absence de réaction adéquate, divers équipements de bord, qui ont aussi reçu ces informations, réagissent eux-mêmes en provoquant entre autres, le cas échéant, l'arrêt du train.

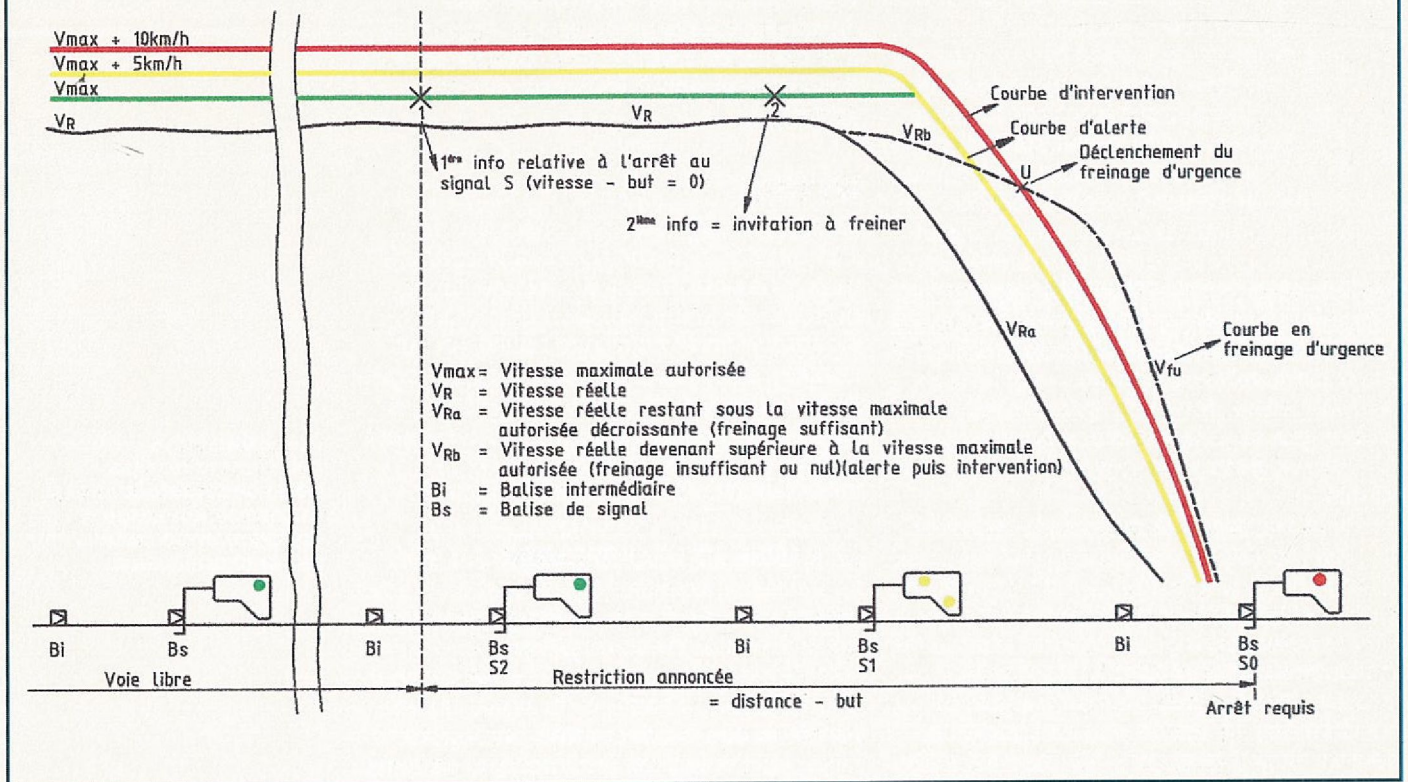
LES INFORMATIONS DE LA TBL 1

La qualité des équipements TBL 1 permet de réaliser les opérations suivantes avec une fiabilité plus élevée que celle offerte par le système «brosse/crocodile» :

- Le contrôle de la vigilance du conducteur face à un signal ouvert, mais avec des restrictions (fonction de contrôle);
- La mémorisation et l'affichage sous une

Les ordinateurs de bord calculent toutes les demi-secondes la vitesse maximale autorisée du train en fonction de celle admise par la signalisation.

Schéma de fonctionnement de la TBL 2 - Cas d'un arrêt



forme déterminée (voyant) de l'aspect présenté par les signaux (fonction MEMOR);

□ La mise à l'arrêt automatique du train en cas de franchissement non autorisé du signal (fonction STOP).

De plus, toutes ces informations provenant de la signalisation et les actions sur la marche du train sont mémorisées sur les enregistreurs graphiques de bord (équipements TELOC).

LES TBL 2 ET 3

Si la TBL 1 a permis d'accroître la sécurité des circulations, elle reste fondamentalement un système de répétition des signaux latéraux à bord des engins de traction.

Or, depuis la décennie 80, la SNCF préparait l'arrivée de la grande vitesse, ce qui avait d'importantes répercussions en matière de signalisation. En effet, les instances ferroviaires internationales ont déterminé qu'au-delà de 200 km/h, le maintien de la seule signalisation latérale posait de multiples problèmes et n'offrait plus toutes les garanties souhaitées. Dans ce contexte, une mauvaise visibilité des signaux aurait engendré une réduction des vitesses autorisées, ce qui aurait entraîné des conséquences commerciales et économiques très néfastes. Par ailleurs, un allongement du découpage en sections pour tenir compte des vitesses

supérieures aurait, quant à lui, été préjudiciable au débit des lignes concernées.

Des recherches furent donc menées pour mettre au point un système de signalisation et de contrôle de la circulation du train permettant de s'affranchir des signaux latéraux.

TBL, TVM 430, LZB...

À cet égard, il ne pouvait être envisagé de reprendre purement et simplement les systèmes mis au point par les réseaux voisins pour la grande vitesse, comme le système «TVM 430» (pour transmission voie machine) de la SNCF ou le «LZB» (pour Linien Zug Beeinflussung ou influence des trains en ligne) de la Deutsche Bahn.

Certes, un accord a été conclu avec la SNCF pour que le système TVM 430 (1) soit aussi installé sur la ligne à grande vitesse belge entre la frontière française et Lembeek. Ce choix s'explique, pour une bonne part, par le souci d'appliquer une seule méthodologie d'observation des indications de signalisation durant des trajets à grande vitesse en une seule étape, comme ce sera le cas sur la ligne à grande vitesse Bruxelles-Paris.

(1) Dans le système de la TVM 430, les informations sont véhiculées par les rails et émises au départ de ceux-ci et non de balises.

Toutefois, les grandes vitesses allaient être pratiquées aussi sur d'autres lignes belges : de Hal à l'entrée de Bruxelles; de Bruxelles à Louvain, à Liège et au-delà; également en aval d'Anvers vers la frontière néerlandaise. De plus, sur certains des tronçons précités – comme sur d'autres encore, à l'avenir –, des trains rapides du service intérieur allaient circuler aussi à des vitesses atteignant les 200 km/h.

Il s'imposait donc de trouver un système utilisable pour nombre de trains belges. Et c'est là que les recherches entreprises montrèrent qu'avec les développements récents de l'électronique, les équipements TBL pouvaient être développés jusqu'à devenir une véritable signalisation de cabine (un «cab-signal») belge au moins aussi performante que celle de nos réseaux voisins. De plus, celle-ci pouvait être conçue de telle sorte que, sur le tronçon Lembeek-Bruxelles, elle donne des indications semblables à celles fournies par la TVM 430 sur la ligne à grande vitesse. De ce fait, elle permettait aussi de répondre au souci de la méthodologie unique d'observation de la signalisation citée ci-dessus.

LES ÉQUIPEMENTS DES TBL 2 ET 3

Équipements au sol

Au sol, ces systèmes de TBL sont assez semblables à ceux utilisés pour la TBL de 1^{re} génération. Le cas échéant, ces équipements peuvent être complétés, dans la section, par une ou plusieurs balises intermédiaires soit par une «boucle émettrice», constituée par des câbles posés dans la voie sur une longueur pouvant atteindre 1 000 m.

Ces équipements complémentaires émettent le même message que la balise du signal. Le train en approche peut donc capter plus tôt ce message et le conducteur adapter sa conduite sans attendre d'être arrivé à la balise qui lui donnerait la nouvelle information. Cette solution peut être fort utile dans des endroits où les arrêts et redémarrages risquent d'être fréquents.

En effet, grâce à ces équipements, un ordre d'arrêt initialement prescrit en fonction de l'état de la section suivante et ensuite annulé du fait de la libération de cette section est transmis plus tôt au train en approche. Son conducteur ne doit dès lors plus marquer l'arrêt ordonné et il peut, au contraire, réaccélérer plus tôt, d'où des gains de temps et des économies d'énergie...

Par ailleurs, le système intègre des données relatives aux caractéristiques de la section de ligne concernée, telles que sa déclivité, la vitesse plafond de la ligne, etc. Ces données influencent en effet directement le contrôle de la vitesse du train.

Les équipements TBL reçoivent leurs informations

- Soit du système à relais classique du signal, auquel cas on parle de TBL 2;
- Soit de modules électroniques spécifiques pilotés à distance par une cabine de signalisation de type PLP (poste à logique programmable), et on parle alors de TBL 3.

Équipements à bord

Ceux-ci sont sensiblement plus développés.

Des calculateurs plus puissants reçoivent les informations transmises par les balises et les comparent en permanence avec une série de données qui ont été introduites par le conducteur, avant la circulation du train, via un clavier d'ordinateur situé dans le poste de conduite : vitesse maximale autorisée pour le train, sa longueur, la masse totale et la masse freinée, le poids-frein, etc.

Sur la base de toutes ces données, les ordinateurs de bord calculent toutes les demi-secondes (!) la vitesse maximale autorisée du train en fonction de celle admise par la signalisation. Le cas échéant, le système calcule une courbe de réduction de vitesse permettant au train de s'arrêter devant un signal à l'arrêt (voir le schéma représentatif). Ces données sont transmises sur un afficheur spécifique («cab-display») situé près du conducteur, qui adapte sa vitesse en conséquence. Comme cette dernière est calculée de façon pratiquement continue en temps réel, une absence de réaction ou une insuffisance de réduction de vitesse par rapport à la courbe de décélération calculée par le système entraîne le déclenchement du freinage d'urgence, éventuellement après mise en œuvre de dispositifs lumineux et sonores attirant spécialement l'attention du conducteur.

Signalisation à distance et contrôle de vitesse

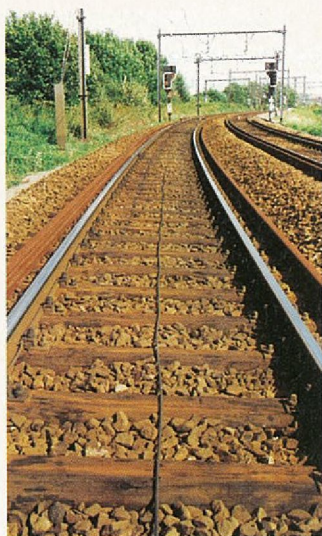
En pratique, les équipements au sol et embarqués sont conçus pour tenir compte de nombreux éléments variables. De fait, en fonction de la vitesse des trains et de leur distance de freinage, on peut aller jusqu'à avoir besoin de six sections de 1 500 m – soit neuf kilomètres – pour réaliser l'arrêt normal de trains roulant à des vitesses de 300-320 km/h.

Compte tenu de cela, le système TBL affiche en cabine les données de la signalisation via le «cab-display».

En fonction des cas, ce visualisateur présente les données suivantes :

- La vitesse maximale autorisée à tout instant par le train. Elle se présente sous la forme d'un trait circulaire orange entourant le cadran indiquant la vitesse réelle du train;

La TBL 1 reste fondamentalement un système de répétition des signaux latéraux à bord des engins de traction.



▲ «BOUCLE ÉMETTRICE»
TRANSMETTANT LES INDICATIONS
DE LA SIGNALISATION

PHOTOS SNCB/D. MOINIL



□ La «vitesse-but», qui est celle imposée à hauteur du signal présentant une restriction : arrêt, ralentissement permanent ou temporaire pour travaux, prise d'aiguillage, etc. Elle est affichée en chiffres dans la partie inférieure du «cab-display»;

□ La «distance-but», qui est celle restant à parcourir entre l'endroit où le train reçoit l'information et le point où la restriction doit être réalisée effectivement. Elle n'est affichée que lorsqu'il y a une restriction et elle apparaît alors sous la forme d'une barre verticale lumineuse graduée, diminuant de hauteur au fur et à mesure que le train se rapproche du point présentant une restriction.

Outre la diminution progressive de la barre représentant la distance-but en cas d'indication d'une restriction à hauteur d'un signal, le trait circulaire orange – dont l'extrémité inférieure détermine la vitesse maximale autorisée calculée par le système – se déplace lui aussi progressivement vers la gauche, jusqu'à atteindre la vitesse-but imposée au signal en question. C'est la représentation visuelle de la fameuse courbe de freinage calculée par le système.

Le conducteur doit alors veiller à ralentir progressivement de façon à ce que le prolongement de l'axe de l'aiguille indiquant la vitesse réelle ne soit pas «rattrapé» par l'extrémité de ce trait circulaire visualisant la vitesse maximale autorisée. Si tel était le cas, le contrôle de vitesse déclencherait le freinage d'urgence.

Si nécessaire, les données sont réactualisées à hauteur de chaque balise et en certains points intermédiaires (balise de libération ou boucle) en fonction de l'évolution de la situation, par exemple, en cas de libération du point protégé ou d'information moins restrictive.

De nouvelles données sont alors affichées et une nouvelle courbe de vitesse maximum apparaît également.

MISE EN ŒUVRE DES TBL 2 ET 3 AU SOL

Les TBL 2 et 3 seront installées à brève échéance sur les voies de la ligne 96 entre Hal et Forest. De ce fait, dès la mise en service du système, en 1998, les engins disposant de ces équipements pourront y circuler à 220 km/h en obéissant à la signalisation de cabine. Les autres engins pourront y circuler à 160 km/h en observant la signalisation latérale implantée pour cette vitesse. Ce cas montre bien les possibilités de combinaison entre les systèmes TBL 2 ou 3 et les systèmes précédents, la TBL 2 ou 3 se superposant aux autres sans les annuler. Par ailleurs, ces systèmes sont aussi prévus pour les sections des lignes nouvelles à grande vitesse au-delà de Bruxelles, vers Liège et l'Allemagne d'une part, vers la frontière néerlandaise d'autre part. De même, en fonction des possibilités de mise en œuvre du système, ceux-ci sont également envisagés pour équiper les lignes les plus importantes du réseau.

À BORD DES ENGINES DE TRACTION

Compte tenu de ce qui précède et des perspectives futures, les nouveaux engins commandés par la SNCB sont d'office dotés des équipements TBL 2 ou 3. Outre les TGV, il s'agit des AM 96 livrées à partir de 1996/1997 ainsi que des prochaines locomotives de la série 13 qui formeront l'ossature du futur parc de traction moderne et de vitesse de la SNCB. D'éventuelles extensions à d'autres engins, actuellement équipés de la TBL 1 seront examinées en fonction de l'évolution des besoins et des services de ces engins. □