

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 511 103 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
25.06.1997 Bulletin 1997/26

(51) Int. Cl.⁶: **B61L 3/22**

(21) Numéro de dépôt: **92401156.2**

(22) Date de dépôt: **23.04.1992**

(54) Système de transmission d'informations entre le sol et des mobiles notamment dans les communications sol-trains

Informationsübertragungsanlage zwischen dem Boden und mobilen Stationen, insbesondere in den Boden-Zug Nachrichten

Information transmitting system between ground and mobil stations, especially in ground-train communications

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU MC NL
PT SE**

(30) Priorité: **24.04.1991 FR 9105045**

(43) Date de publication de la demande:
28.10.1992 Bulletin 1992/44

(73) Titulaire: **SOCIETE NATIONALE DES
CHEMINS DE FER FRANCAIS (ETABLISSEMENT
PUBLIC)
F-75008 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **Bernard, Patrice
F-75009 Paris (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A- 0 252 199 FR-A- 1 531 311
FR-A- 2 608 119 FR-A- 2 626 834
FR-A- 2 626 834**

Remarques:

Jointe à la demande no. 92910371.1/0581847
(numéro de dépôt/numéro de publication de la
demande européenne) par décision du 22.07.94.

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 511 103 B1

Description

La présente invention concerne un système de transmission d'informations entre le sol et des mobiles. Elle concerne, plus particulièrement, mais non limitativement, la transmission d'informations entre le sol et des mobiles ferroviaires, engins de traction, voitures ou wagons, éléments de rame ou de trains.

On connaît déjà dans l'art antérieur différents moyens qui permettent d'assurer de telles communications. Ces divers moyens peuvent être classés suivant différents critères. Un des critères de classement de ces moyens est la portée de la zone qu'ils permettent de couvrir.

Certains de ces moyens ont une couverture ponctuelle, c'est-à-dire limitée à quelques dizaines de centimètres, voire quelques mètres et ne peuvent donc être utilisés que lorsque le mobile passe en des endroits bien déterminés. Parmi ces moyens, certains sont unidirectionnels, comme la signalisation lumineuse traditionnelle ou sa répétition en cabine par contact métallique ou boucle inductive. Des techniques plus récentes, comme les hyperfréquences ou l'optique (infrarouge), autorisent l'établissement de liaisons bidirectionnelles entre un mobile et une "balise" offrant un débit élevé.

Le document EP-A-252 199 décrit une installation de transmission ponctuelle de données entre la voie et un véhicule circulant sur celle-ci.

D'autres moyens de communication ont une couverture plus importante. Il s'agit essentiellement de moyens radioélectriques. L'émetteur-récepteur avec lequel le mobile entretient des échanges (qui dans certains cas ne sont qu'unidirectionnels) se trouve soit dans l'espace (satellites de télécommunications) soit au sol. Dans ce dernier cas, il s'agit exceptionnellement d'une station ayant une vaste couverture et le plus souvent, en raison de la bande de fréquences utilisée, d'un ensemble de stations fixes à portée limitée à quelques kilomètres et de ce fait organisées en réseau. Le débit d'information de ces liaisons radio est généralement limité par la relative étroitesse de la bande de fréquences disponible. Plus encore que le débit global, le débit par mobile est limité par le nombre de mobiles se trouvant dans la zone de couverture entre lesquels partager le débit disponible.

Un troisième type de moyens de communication a une couverture qui n'est ni ponctuelle ni étendue à une zone relativement vaste dans ses deux dimensions. Il s'agit de moyens dont la couverture est en quelque sorte linéaire, de façon à couvrir une section de voie ferrée ou de route. Les moyens mis en oeuvre peuvent être un câble rayonnant, un guide d'ondes à pertes, voire, dans le cas du chemin de fer, les rails mais la transmission est alors unidirectionnelle.

Le document FR-A-2 626 834 décrit un système de transmission entre le sol et un véhicule, où des antennes sont portées par ce véhicule. Deux de ces antennes sont des tronçons de ligne de transmission disposés parallèlement au trajet de la voiture, ayant dont une couverture plus longue dans la direction longitudinale que dans la transversale.

Les inconvénients des transmissions ponctuelles ont longtemps été leur caractère unidirectionnel. Des progrès récents permettent d'assurer des transmissions bidirectionnelles à débit élevé et pour un coût faible. Il leur reste les inconvénients propres à l'étroitesse de la zone couverte. Tout d'abord l'impossibilité d'établir une relation avec un mobile arrêté en dehors d'une zone couverte. Ceci est particulièrement gênant s'il s'agit d'envoyer à un train arrêté l'autorisation de reprendre sa marche, car la précision d'arrêt permet difficilement à un mécanicien de s'arrêter dans la zone de couverture d'une balise, même si celle-ci est indiquée. En deuxième lieu, la difficulté de faire parvenir à un mobile en train de s'arrêter l'autorisation de reprendre sa vitesse, de manière à fluidifier le trafic et à économiser l'énergie, sauf à multiplier le nombre des balises ponctuelles. En troisième lieu, le débit globalement disponible pour assurer la transmission avec un mobile est proportionnel non seulement au débit de la liaison lorsqu'elle est établie mais aussi à la proportion du temps où elle l'est, c'est-à-dire au rapport entre la longueur de la zone couverte par une liaison ponctuelle et l'espacement entre zones couvertes successives. En quatrième lieu, même si le débit moyen est suffisant, son caractère discontinu dans le temps impose pour un service comme le téléphone, demandant a priori la continuité, un stockage temporaire, donc un temps de réponse apparent élevé.

Les inconvénients des transmissions à couverture étendue sont essentiellement de deux ordres. En premier lieu, l'obligation de partager entre l'ensemble des mobiles desservis par la même liaison un débit global limité par l'étroitesse des bandes de fréquences disponibles fait que le débit disponible par mobile est en général très limité. En deuxième lieu, la présence d'obstacles à la propagation (feuillage, tranchées, tunnels) ou d'obstacles provoquant des chemins multiples (collines, bâtiment) amène à accepter que certaines zones soient mal ou pas du tout couvertes ou amène, pour assurer leur couverture, à mettre en oeuvre des moyens de répétition coûteux. Un troisième inconvénient affecte certains mobiles particulièrement rapides utilisant une transmission radio avec un débit de modulation élevé et certains procédés de modulation; il s'agit de l'effet Doppler qui peut interdire des liaisons numériques avec des mobiles trop rapides.

Les inconvénients des transmissions à couverture linéaire sont, en ce qui concerne les transmissions par les rails, leur caractère unidirectionnel et leur très faible débit, en ce qui concerne les câbles rayonnants leur coût et leur domaine de fréquences encore limité (il est difficile aujourd'hui de monter très au-delà de 1 GHz) pouvant interdire de transposer sur cette antenne particulière qu'est le câble une transmission à l'air libre (répétition en tunnel de liaisons avec des satellites, par exemple), et en ce qui concerne les guides d'ondes à fentes, leur coût.

La présente invention a pour but de permettre des transmissions entre le sol et des mobiles avec un débit d'informa-

tion élevé avec chaque mobile, une couverture continue et pour un coût modéré.

L'objet de l'invention est un système de transmission sol-mobile, utilisant côté sol des balises de transmissions hyperfréquences du type de celles qui servent habituellement à assurer des transmissions ponctuelles, caractérisé en ce que la couverture par le véhicule est étendue dans le sens du déplacement de celui-ci, en l'équipant d'une antenne ou d'un autre dispositif rayonnant dont la couverture dans le sens du déplacement est très supérieure à celle d'une balise de telle manière qu'elle atteigne ou dépasse la distance séparant des balises successives. De cette façon, on permet une liaison continue au cours du déplacement du véhicule.

Le système de transmission selon l'invention assure dans les meilleures conditions le partage des ressources de transmission disponibles et l'acheminement des informations entre un Centre Nodal de Transmissions et les balises ponctuelles successivement couvertes par l'antenne d'un véhicule.

En résumé, l'invention concerne un système dans lequel les rôles qui, dans l'état de l'art des transmissions à couverture linéaire, sont respectivement dévolus au sol et aux mobiles sont inversés. C'est le sol qui porte, à intervalles plus ou moins réguliers, des balises assez simples (reliées entre elles par un réseau de transmission) et c'est le mobile qui porte un émetteur-récepteur complexe, relié à une antenne de grande dimension, telle qu'un câble rayonnant ou un guide d'ondes à fentes placé par exemple sur toute la longueur d'un train, et qui, à travers cette antenne, est en contact permanent avec au moins une balise ponctuelle d'un ensemble. Parce qu'une balise n'est en contact qu'avec au plus un mobile à la fois, le débit assuré à un mobile ne l'est pas au détriment de celui assuré à un autre mobile, pour autant que le réseau terrestre reliant les balises n'introduise pas de limitation.

L'invention sera mieux comprise à la lecture d'un procédé de réalisation préférentiel et de certaines variantes de ce procédé, qui n'est indiqué que pour illustrer l'invention et qui n'en restreint en aucune façon la portée, celle-ci pouvant être réalisée selon tout autre procédé équivalent qui apparaîtra approprié à l'homme de l'art.

Les caractéristiques ci-dessus, ainsi que d'autres caractéristiques et avantages secondaires, apparaîtront de façon plus détaillée dans la description ci-après d'une forme de réalisation, faite en référence aux planches en annexe, sur lesquelles :

- la figure 1 représente schématiquement une section de ligne ferroviaire équipée de balises et d'un réseau de transmission les reliant à un centre nodal de transmissions, parcourue par une rame équipée d'un lecteur relié à une antenne répartie selon l'invention ;
- la figure 2 donne le détail d'un guide d'ondes à fentes équipant une rame et servant d'antenne répartie selon l'invention ;
- la figure 3 donne le détail d'un mode de fixation du guide d'ondes à fentes sous la caisse de la motrice et/ou des éléments de la rame ;
- les figures 4a, 4b et 4c donnent le détail de trois modes possibles de couplage entre guides d'ondes se trouvant sur des véhicules adjacents dans la rame ;
- la figure 5 donne un agencement de l'antenne-guide d'ondes en deux ensembles couvrant chacun une moitié de la rame et permettant d'assurer harmonieusement la transition entre une balise et la suivante, dans le cas d'une transmission continue;
- la figure 6 décrit l'architecture d'un réseau reliant entre eux et à un centre nodal de transmissions les noeuds auxquels sont raccordées les balises et éventuellement d'autres équipements répartis, tels que des contrôleurs d'aiguilles ;
- la figure 7 représente la structure d'un noeud.

Le mobile, qui dans le cas pris pour exemple est une rame, est équipé d'un "lecteur" tel qu'en proposent, essentiellement pour des applications de péage mains libres ou d'identification de conteneurs, les sociétés CGA-HBS (système Hamlet), Philips (système Premid), Marconi (système Telepass) ou Amtech. Ce "lecteur" est couplé à une antenne placée sous le mobile.

On notera que l'on appelle "lecteur", dans le cadre de la présente invention, un organe fonctionnant à l'alternat, en remplissant les fonctions suivantes :

Pour transmettre dans le sens train-sol, il module une porteuse, généralement en amplitude. Pour lire le contenu du message en attente de lecture dans la balise équipant la ligne ferroviaire et destiné au train, il illumine la balise avec une onde hyperfréquences non modulée. La balise en réfléchit une partie, en modulant l'onde réfléchie en amplitude (mise en court-circuit de l'antenne modulée par le contenu d'une mémoire telle qu'un registre à décalage), en fréquence ou parfois en phase, ou par tout autre procédé.

Les débits de tels lecteurs sont typiquement de l'ordre de 500kbit/s et peuvent atteindre 1Mbit/s mais le débit bidirectionnel n'est que de la moitié dans la mesure où la réponse de la balise, qui exige une illumination non modulée, ne peut se faire en même temps que l'envoi d'un message à la balise. Certains systèmes ont un débit plus limité mais essentiellement afin de diminuer l'énergie consommée par la balise, ce qui est une considération de moins d'importance avec le système de transmission de l'invention, dans lequel une téléalimentation des balises à travers le système terrestre de transmission sera le plus souvent possible.

Si l'on se reporte à la figure 1, on voit que l'on a représenté deux voies V_1 et V_2 , comportant chacune deux rails tels que r_1 et r_2 . Des balises, telles que b , comportant une antenne sont placées dans les voies entre deux traverses t ou sur une traverse. Le lecteur L , porté par le mobile, est couplé au guide d'ondes placé sous le mobile. Dans un premier temps, on supposera que le mobile est une locomotive d'une longueur de 12m, remorquant un train de marchandises. On supposera que l'antenne du mobile est un guide d'ondes à fentes G . O situé sous la caisse du mobile, dans l'axe longitudinal, et que sa couverture est de 15m (soit 1,5m de plus, de part et d'autre, que la longueur du guide). C'est-à-dire que l'on supposera que, lorsque le mobile se déplace, la liaison avec une balise ponctuelle b au-dessus de laquelle il passe est possible sur 15m de son parcours.

En supposant que la précision d'arrêt du train par le mécanicien est de $\pm 5m$, on voit que l'antenne de 15m de couverture lui permet d'arrêter son train au-dessus de l'antenne de façon à être sûr de pouvoir recevoir l'autorisation de reprendre sa marche. En supposant qu'une antenne "ponctuelle" ordinaire, placée sous la caisse de la locomotive ne permet un échange de données que sur une distance de 1,5m de part et d'autre de l'emplacement de la balise, on voit que l'antenne de 15m de couverture autorise l'échange d'un volume de données 5 fois plus important. En supposant que la distance séparant deux balises successives est de $l = 200m$ et que le débit moyen dans la zone de couverture est de 256kbit/s, on voit que le débit moyen accessible à un train roulant à vitesse constante est 19,2kbit/s, quelle que soit cette vitesse. En supposant qu'une conversation téléphonique requière un débit de 16kbit/s, on voit qu'il est possible au mécanicien de s'entretenir avec un régulateur au sol, moyennant l'acceptation d'un retard dans la transmission de la parole égal au temps nécessaire pour parcourir la zone non couverte entre deux balises. Pour une vitesse de circulation de 100km/h, ce délai est de 6,6 secondes.

Supposons maintenant que le mobile soit non plus une locomotive remorquant un train de marchandises mais une rame automotrice. On prendra l'exemple d'un TGV-Atlantique, dont la longueur est de $l' = l + \varepsilon = 220m$. Nous supposons que l'antenne est réalisée sous la forme d'un guide d'ondes à fentes courant sous l'ensemble de la longueur du train et couvrant de ce fait une distance légèrement supérieure à 220m, donc à l'espacement entre deux balises, toujours supposé égal à 200m. Dans ces conditions, le train est en permanence au-dessus d'une balise au moins, et parfois de deux. On verra plus loin comment sont évitées les interférences potentielles entre deux balises couvertes simultanément. En conservant les valeurs numériques précédentes, on voit que le train est non seulement couvert en permanence, mais qu'il dispose en permanence d'un débit de 256kbit/s. Ce débit permet d'écouler de l'ordre de 15 communications téléphoniques, sans délai de transmission notable, et/ou un important volume de données, servant à l'exploitation ferroviaire ou permettant d'offrir des services ferroviaires aux voyageurs (horaires, réservations) voire de leur offrir des services de bureautique mobile (connexion à des bases de données, transmission de télécopies, etc.). On peut aussi remarquer que, lorsque la rame est constituée de deux éléments, de 220m chacun, chacun de ces éléments peut bénéficier de la capacité de transmission indiquée, sans qu'il doive partager avec l'autre élément ou avec d'autres trains autre chose que l'utilisation du réseau terrestre qui relie les balises au Centre Nodal de Transmissions.

Les diverses balises sont reliées à des noeuds, tels que N_i , N_j , N_k , eux-mêmes espacés de 200m. Ces noeuds sont, à leur tour, en liaison avec un Central Nodal de Transmissions, tel que CNT d'une part, et peuvent d'autre part être reliés à une installation ferroviaire fixe telle que IF, commandant par exemple un moteur d'aiguille.

Si l'on se reporte maintenant à la figure 2, on voit une forme de réalisation de l'antenne du mobile. La réalisation de cette antenne s'appuie sur l'utilisation d'un guide d'ondes à fentes GO tel que celui utilisé dans le système IAGO de liaisons sol-trains développé par la société GEC-ALSTHOM, décrit notamment dans le brevet français 2 608 119 en date du 12.12.86 (mais, dans ce système, le guide d'ondes est posé dans la voie et le train dispose d'une antenne ponctuelle reliée à un émetteur-récepteur hyperfréquence traditionnel). Pour une fréquence de 2,45GHz le guide d'ondes se présente sous la forme d'un tube rectangulaire en aluminium extrudé, dont les dimensions sont de l'ordre de 10,5cm x 5,5cm, percé de fentes f perpendiculaires à la voie, espacées de l'ordre de 4,5cm.

Si l'on se reporte à la figure 3, on voit le détail d'un mode de fixation du guide d'ondes à fentes sous la caisse de la motrice et des éléments de la rame, qui assure à la fois la fixation et la protection du guide d'ondes. A cet effet, le guide d'ondes 1 est protégé des projections de ballast par un feuillard d'acier 2 percé de fentes 3 de façon à ne pas masquer les fentes 4 du tube en aluminium et qui assure la fixation du tube sous la caisse 5 par l'intermédiaire de boulons 6, par exemple, vissés dans la caisse 5. Les bords des fentes du feuillard sont taillés en biseau, ainsi qu'il est représenté sur la figure 3. A la fréquence citée de 2,45GHz, l'affaiblissement présenté par le guide, avec ses fentes, est de l'ordre de 18dB/km, soit 4dB sur la longueur du train, et 2dB seulement si le lecteur est placé au milieu du train et alimente deux demi-guides d'une longueur de 110m chacun.

Le guide placé sous la caisse de la motrice ou d'une remorque est rigide. Or la rame indéformable est articulée autour de rotules habituellement situées juste en dessous des intercirculations permettant aux voyageurs de passer d'une remorque dans l'autre. Plusieurs solutions peuvent être utilisées pour assurer le raccordement des guides d'ondes de remorques voisines.

On a résumé sur les figures 4a, 4b et 4c, trois des solutions possibles de raccordement.

La première de ces solutions représentée sur la figure 4a, consiste à utiliser dans la zone de raccordement un guide d'ondes souple comme on en rencontre dans certaines installations de radar. Ce raccordement se compose d'une partie souple, éventuellement constituée de deux parties souples s_1 et s_2 séparables, reliées respectivement aux

guides ondes GO_1 et GO_2 .

La seconde de ces solutions, représentée sur la figure 4b, consiste à connecter les deux guides d'ondes adjacents GO_1 et GO_2 par l'intermédiaire d'un câble coaxial Cx éventuellement séparable en deux parties, dont les extrémités rejoignent l'intérieur des guides d'ondes et assurent la continuité par l'intermédiaire des dipôles d_1 et d_2 . Le passage d'une transmission par guide d'ondes à une transmission par coaxial ou inversement ne perd qu'environ 0,1dB. L'affaiblissement du coaxial lui-même est de l'ordre de 1dB/m, si bien que la traversée de 11 séparations entre remorques (cas extrême où le lecteur est placé dans une des motrices) ne prend encore qu'un peu plus d'une dizaine de dB. Afin de protéger le coaxial contre les projections de ballast, il est avantageusement placé dans une gaine telle que les boyaux assurant, sur les trains classiques, les connexions pneumatiques ; sa protection peut être renforcée par une plaque de tôle.

La troisième solution, représentée sur la figure 4c, peut être utilisée sur une rame articulée comme le TGV, dans laquelle les mouvements relatifs de remorques voisines limitent le débattement d'un guide par rapport à son voisin. Cette solution consiste à les positionner autant en regard l'un de l'autre que possible, de façon que l'un capte la presque totalité du rayonnement qui s'échappe de l'autre. A cet effet, chacune des extrémités en regard des guides d'ondes GO_1 et GO_2 est prolongée par un élément en aluminium présentant la forme d'un tronc de pyramide, dont la petite base correspond à la section des guides d'ondes et dont la grande base est homothétique de celle-ci. Compte tenu du faible débattement entre les deux extrémités des guides d'ondes, la perte de rayonnement est effectivement réduite.

Le brevet cité en référence indique comment il est possible d'utiliser un guide d'ondes à fentes pour mesurer en sécurité la vitesse. Cette mesure s'appuie sur l'injection d'une fréquence telle qu'entre deux fentes successives l'onde se déplace d'environ une demi longueur d'onde. Dans ce cas, une antenne située à une faible distance du guide détecte des noeuds et des ventres d'amplitude dont le décompte lui permet de connaître l'espace parcouru (et dont le quotient de ce décompte par le temps lui permet de connaître la vitesse). Cette possibilité peut être exploitée par le lecteur. Si, en sus de la fréquence voisine de 2,45GHz utilisée pour la transmission, il injecte une fréquence voisine de 2,7GHz, le signal qui lui est retourné est modulé au pas des fentes.

Lorsque le train est dans une position telle qu'il couvre deux balises à la fois, l'une sur son avant et l'autre sur son arrière, il n'y a pas d'interférence radioélectrique dans le sens train-sol (encore que l'information étant reçue par deux balises distinctes, il soit plus économique qu'une seule la fasse parvenir au centre nodal de transmissions). En revanche, si le lecteur illumine d'une même fréquence non modulée deux balises et que celles-ci modulent l'onde réfléchie, il est très possible que les deux ondes reçues par le mobile interfèrent et ne rendent difficile la bonne réception de l'information (encore qu'il soit possible, si le lecteur se trouve à une extrémité du train, qu'il y ait capture de l'onde la plus affaiblie, ayant parcouru deux fois la longueur du train, par celle, moins affaiblie, qui n'a parcouru que quelques mètres dans le train).

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées, qui permettent de s'affranchir de ces perturbations.

Une forme de réalisation est l'objet de la figure 5.

Une première méthode consisterait à utiliser deux lecteurs L_1 et L_2 , qui émettent sur des longueurs d'ondes légèrement différentes, si bien que les signaux à diverses fréquences puissent coexister sans que leur réception s'en trouve perturbée. Ces lecteurs seraient embarqués en 3, correspondant à la partie médiane du train.

Une autre consisterait en ce que le lecteur soit situé au milieu du train en 3 et puisse émettre au choix à travers l'un ou l'autre des deux guides G_1 et G_2 parcourant chacun la moitié du train. L'émission d'un court message et la mesure de la qualité de la réponse de l'un et de l'autre permettent au lecteur de choisir l'une des deux balises (et, en lui faisant savoir qu'elle est choisie, d'obtenir d'elle qu'elle se fasse adresser par le centre nodal de transmissions les messages destinés à ce train).

La méthode que l'on préfère est toutefois une autre méthode encore. Elle consiste à émettre en permanence sur deux fréquences proches de 2,7GHz mais distinctes, de façon à obtenir de l'une d'elles au moins, parce que la moitié du guide dans laquelle elle est envoyée couvre une balise, une mesure continue de la vitesse. Il s'agit tantôt de la première balise, tantôt de la seconde, avec un recouvrement pendant lequel deux balises sont couvertes et peuvent l'une et l'autre fournir la vitesse en sécurité. Le constat de la réponse d'une nouvelle balise (et une mesure de qualité associée) permet de décider à quel moment utiliser l'un ou l'autre des deux guides d'ondes pour écouler les transmissions.

On se rend compte que la nature intensive mais sporadique du débit d'une balise, la répartition des balises tout au long d'une ligne, à des intervalles qui permettent de l'une à l'autre une transmission à débit élevé en bande de base, le fait que deux trains se succédant sur une voie donnée sont en général espacés d'une distance qui est souvent supérieure à 2 kilomètres, ou en d'autres termes qu'un seul train se trouve sur une certaine section de ligne, le désir d'éviter qu'une rupture d'une ligne de transmission se traduise par l'impossibilité de communiquer avec les trains se trouvant sur une certaine section de ligne, le nombre relativement élevé des balises qui fait souhaiter que les noeuds de communication auxquels elles sont rattachées aient une structure simple, le fait que ces noeuds peuvent aussi être reliés avantageusement à des installations fixes telles que des contrôleurs d'aiguille ou systèmes d'annonces aux passages à niveau, sont autant de caractères spécifiques aux transmissions devant relier les balises au centre nodal de transmissions. Pour ces raisons, le système de communications sol-trains selon l'invention est avantageusement complété d'un système adapté et spécifique de gestion des communications terrestres qui est en quelque sorte le garant des per-

formances et de son économie.

On reviendra plus en détail sur ce qui a été dit ci-dessus, à partir d'une forme de réalisation, présentée en référence aux figures 6 et 7.

Une transmission hyperfréquences à courte portée peut donc être le maillon "saut sol-train" d'un réseau de communications entre un centre de transmission et l'ensemble des trains parcourant une ligne. Pour que ce réseau soit globalement intéressant, encore faut-il que le réseau terrestre de raccordement des balises hyperfréquences offre un niveau de performances compatible avec celui des balises, une disponibilité élevée et un coût modéré. Il faut de plus qu'il soit capable de prendre en charge les autres transmissions intéressant des points fixes situés sur la voie ou à son voisinage : stations fixes de la radio sol-trains, moteurs et contrôleurs d'aiguille, systèmes de gestion des passages à niveau, éventuellement bornes d'accès téléphonique, etc.

On décrira ci-après les grandes lignes d'une solution possible, basée sur un raccordement en boucle de noeuds rapprochés mais rudimentaires, avec une gestion dynamique d'une capacité qui grâce à cela peut demeurer globalement faible.

On abordera successivement :

- 1 - l'aspect système,
- 2 - la résistance aux défaillances, ou processus de reconfiguration,
- 3 - la gestion des transmissions,
- 4 - le format de la trame,
- 5 - l'architecture du noeud.

1 - **En ce qui concerne l'aspect système**, on fera tout d'abord quelques hypothèses sur les balises et leur implantation :

On supposera que le débit de la liaison souhaitable entre une balise et ce que l'on appellera le Centre Nodal de Transmissions (CNT) est de l'ordre de 250kbit/s, full-duplex. Ce chiffre suppose une transmission sol-trains d'un débit supérieur à 500kbit/s, car cette transmission se fait obligatoirement à l'alternat. Le débit doit être supérieur au double du débit de la liaison avec le CNT parce qu'il faut tenir compte de l'échange de données de service entre train et balise, des temps de retournement, de temps morts liés à la détermination par le train de la balise à utiliser lorsqu'il se trouve au-dessus de deux balises simultanément (quoique l'emploi de deux lecteurs ou d'une deuxième fréquence servant par exemple à une mesure de vitesse en sécurité permette d'assurer cette détermination en temps masqué). Les bandes passantes disponibles autorisent facilement ce débit. La considération qui le limite parfois, à savoir l'économie d'une pile censée durer plusieurs années, ne doit sans doute pas jouer si l'on téléalimente les balises par le réseau de raccordement.

On supposera que l'espacement de deux balises consécutives sur la même voie est de 200m. Bien sûr, il n'a pas à être aussi court sur toutes les lignes, mais 200m est l'espacement maximum permettant d'assurer la continuité de la couverture à une rame TGV de 200m et donc d'offrir des services qui pour avoir une qualité commerciale demandent cette continuité, comme le téléphone.

Avec ces valeurs, on se rend compte que le réseau de raccordement nécessaire doit répondre à des caractéristiques tout à fait inhabituelles :

- un très grand nombre de balises à desservir, réparties linéairement et à très faible distance les unes des autres,
- une très faible proportion de ces balises à être à un moment donné en contact avec un train (pour un espacement moyen entre TGV de 20km, proportion de 2% s'il s'agit de rames doubles, 1% si elles sont simples ; pour des locomotives espacées de 3 km et ayant une couverture de 15m, proportion de 0,5%),
- une grande vitesse de déformation du "pattern" du trafic (pour un TGV circulant à 360km/h, le contact avec une balise ne dure que 2 s ; pour une locomotive roulant à 110km/h et dont le guide d'ondes assure une couverture de 15m, ce contact ne dure que 0,5s),
- pour les balises en contact avec un train, un débit instantané qui peut être très élevé, mais qui n'est sans doute pas le même pour toutes,
- un grand souci de disponibilité, dans la mesure où le réseau doit être un outil du contrôle-commande des circulations.

La prise en compte de ces particularités amène à imaginer un réseau dont les caractéristiques sont les suivantes :

- un noeud tous les 200m,
- une liaison MICTN1, à 2,048Mbit/s,
- une liaison en double anneau entre deux Centres Nodaux de Transmission,
- un adressage direct des trains, conduisant à une structure de noeuds simple.

a) noeuds espacés de 200 m

Si les balises d'une même voie sont espacées de 200m (il est bien entendu qu'il faudra aussi envisager le cas où l'espacement est plus grand), on peut envisager plusieurs espacement pour les noeuds :

- 100m pour une ligne à double voie, à condition de les disposer et de les relier en quinconce,
- 200m pour une ligne quelconque, sachant que, s'il y a plus d'une voie, un noeud devra raccorder plusieurs balises,
- plus de 200m (par exemple 400, si l'on dispose un noeud à mi-distance de deux groupes de balises, soit à 100m de chaque, ou 600, si on dispose un noeud à côté d'un groupe de balises et lui confie le raccordement des deux groupes situés à 200m).

Il semble qu'il ne faut pas retenir 100 m, car une solution doit être générale.

Il semble qu'il ne faut pas retenir 400m ou davantage, car le câblage risque de devenir complexe, la disponibilité mauvaise pour un groupe entier de balises et qu'un émetteur-récepteur à débit élevé de portée 400m, plus de 4 émetteurs-récepteurs à débit plus faible et portée 100m, risquent de coûter plus cher que deux émetteurs-récepteurs à débit plus élevé et portée 200m plus une logique de noeud supplémentaire.

On retiendra donc l'hypothèse d'un noeud tous les 200m. Chaque noeud doit gérer 1 balise (sur voie unique), 2 (sur double voie) voire davantage sur certaines lignes ou en zone de gare. Il doit en outre gérer le raccordement d'équipements fixes voisins (stations fixes de la radio sol-trains, contrôleurs d'aiguille s'ils sont gérés par IPOCAMPE, passages à niveau, etc.).

b) liaison MIC TN1 à 2,048Mbit/s

Un choix important concerne le support, à savoir fibre optique ou cuivre. La fibre optique présente l'avantage d'une totale insensibilité aux perturbations et celui d'une capacité élevée. Elle présente l'inconvénient qu'il n'y en a à l'heure actuelle que sur un kilométrage de ligne relativement faible quoi que croissant, alors que le cuivre est répandu. Elle présente aussi l'inconvénient que ses performances en matière de transmission supposent en pratique des noeuds puissants et qui risquent donc d'être coûteux.

Si l'on vise à utiliser un support de cuivre banal, la quarte d'un diamètre de 0,4mm, on se condamne en pratique au niveau le plus bas des liaisons MIC, la liaison TN1 offrant un débit de 2,048Mbit/s.

Il faut toutefois observer que la norme PTT d'un pas de 1 800m entre répéteurs MIC sur quarte de cuivre de 0,4mm offre sans doute une solution économique pour les lignes où on ne désirerait pas offrir une transmission continue.

On peut penser que le coût d'un répéteur HDB3 (deux circuits intégrés et une bobine accordée) constitue une limite maximum à ce que sera le coût d'une transmission au même débit sur une longueur limitée à 200m.

2,048Mbit/s permettraient, sous réserve d'une gestion efficace de la capacité, le raccordement d'environ 7 rames TGV qui feraient simultanément usage de la totalité de la capacité de 250kbit/s que l'on a supposé autorisée à chacune (ou moins, si certaines de ces rames sont à éléments multiples). Pour un espacement moyen de 20km, une liaison MIC permettrait la gestion en temps normal de 70km environ. On verra plus loin qu'il paraît intéressant d'espacer alors du double les CNT (150km environ), une défaillance se traduisant par le fait que l'un d'eux n'ait plus à gérer qu'une partie de sa charge antérieure, mais son voisin prenant en charge les balises qu'il ne peut plus joindre. Dans ces conditions, une coupure de liaison se traduirait au pire par une division par deux de la capacité que l'on peut octroyer à un train.

La discussion ci-dessus montre qu'une liaison TN1, à la condition d'être gérée dynamiquement, permet la gestion de quelques dizaines de km. C'est a priori une valeur acceptable. Surtout, les limitations sont faciles à repousser, si les débits individuels augmentent, si l'espacement des trains est réduit ou si l'on désire gérer des sections de ligne plus longues : il suffit de relier directement par une liaison MIC classique des sous-sections de la section de ligne à gérer. On admettra donc que la transmission se fait au débit de 2,018Mbit/s.

C) liaison en anneau (figure 6)

Un débit global aussi faible ne peut être partagé efficacement entre des noeuds susceptibles chacun d'"appeler" un débit aussi important que si la totalité de l'information est accessible dans chaque noeud. D'où le choix d'une structure en anneau, dans laquelle chaque noeud retransmet vers son voisin la totalité de l'information qu'il a reçue, éventuellement modifiée de ce que lui-même en a extrait ou y a ajouté.

Il faut bien, d'une façon ou de l'autre, que l'anneau soit bouclé pour que le CNT gère aussi bien l'émission que la réception. Le plus simple est que le chemin du retour soit le même que celui de l'aller, c'est-à-dire que la topologie soit celle d'une boucle n'empruntant qu'une seule ligne à l'aller et au retour.

Il n'est pas nécessaire, du strict point de vue des traitements logiques, que l'information repasse au retour dans chacun des noeuds traversés à l'aller. C'est toutefois intéressant du point de vue de la transmission et de celui de la reconfiguration.

Du point de vue des transmissions, on pourrait certes envisager un retour avec des "bottes de sept lieues", avec par exemple un pas de répétition de 1 800m et en sautant donc 8 noeuds à chaque fois. Toutefois, ceci conduit à une solution bien dissymétrique. De plus, les seuls points où une reconfiguration serait possible sont ceux où les deux sens de transmission sont disponibles. Ceci impliquerait qu'une défaillance pourrait rendre "aveugle" une partie relativement importante d'une ligne. Ceci ne paraît pas acceptable.

On admettra donc que chaque noeud n_i est relié, dans les deux sens de transmission, à chacun de ses deux voisins n_j et n_k . En revanche, l'information ne sera traitée que dans un seul sens ; l'autre se limitera à assurer la fonction de répétition et de reconfiguration.

S'il paraît a priori coûteux de sécuriser chaque balise et même chaque noeud, parce que les conséquences d'une défaillance aussi locale sont a priori peu importantes, il n'en va pas de même de la protection contre les coupures de la liaison. Or de telles coupures ne manqueront pas de se produire.

Il semble insuffisamment efficace de rechercher une sécurisation par une autre liaison empruntant le même itinéraire, car le secours peut être vulnérable au même événement que celui qui affecte la liaison normale. Il semble quasiment impossible et en tous cas ruineux d'assurer chaque noeud par une liaison empruntant un autre itinéraire que la ligne, une liaison PTT par exemple...

La bonne solution semble de secourir une liaison par celle qui la prolonge, en d'autres termes, d'attaquer une ligne par les deux bouts, chacun étant raccordé à un Centre Nodal de Transmissions. Ceci ne signifie pas que, en exploitation normale, chacun doit intervenir dans le raccordement d'un noeud donné mais seulement qu'il doit être possible, en cas de rupture de la liaison, de raccorder à un CNT l'ensemble des noeuds se trouvant du même côté que lui de la coupure.

d) adressage direct des trains

La structure logique du réseau amène à distinguer plusieurs niveaux :

- le Centre Nodal de Transmissions (CNT), responsable de la gestion d'une ligne et des raccordements à d'autres réseaux ou serveurs,
- le "noeud", étape sur la liaison terrestre, responsable local de la transmission, de la reconfiguration et de l'extraction ou insertion d'informations dans la boucle,
- la "balise", en entendant sous ce vocable le contrôleur qui la gère,
- le "train", destinataire final des échanges (on suppose qu'il assure les fonctions de passerelle avec les vrais destinataires finaux que sont les systèmes embarqués ou le téléphone).

Vu la rapidité des reconfigurations de trafic demandées lorsqu'un train passe d'une balise à sa voisine, et vu le désir de limiter l'overhead, il paraît intéressant de rechercher une solution dans laquelle, pour "parler" à un train, le CNT ne s'adresse pas explicitement au noeud de raccordement du moment, ni même à la balise, mais directement au train, sans se soucier de savoir où il se trouve. De la sorte, le changement de balise d'un train ne concerne que le train lui-même, la balise qu'il quitte et celle sous laquelle il s'inscrit. Le "hand-over" ne concerne pas le CNT. Ceci diminue sa charge de travail et surtout accélère le processus et facilite la non-interruption d'un flux continu de données.

Ceci suppose que le train, par l'intermédiaire de son dialogue avec la balise, soit capable de disposer dans le noeud les informations permettant d'intercepter les informations qui lui sont destinées et de savoir quand et à quel endroit injecter des données fournies par le train.

Dans le même ordre d'idées, l'adressage du train par le CNT doit être aussi efficace que possible afin de limiter l'overhead. Vu le faible nombre de trains se trouvant à un moment donné sous la juridiction d'un CNT, ceci suggère de leur affecter de façon dynamique des numéros abrégés.

2 - En ce qui concerne la gestion des défaillances, on procèdera à la reconfiguration du système ainsi qu'il est expliqué ci-après.

On a indiqué que la structure de raccordement la plus appropriée paraissant être celle d'un anneau replié sur lui-même dans lequel chaque noeud était traversé deux fois, une première fois donnant l'occasion d'un traitement logique et une deuxième fois au titre d'un simple répéteur de transmission.

On a indiqué également que la protection contre une rupture de la liaison amenait à envisager de raccorder l'ensemble des noeuds entre deux endroits assez éloignés d'une ligne (on supposera $l_2 = 200\text{km}$) à deux CNT se trouvant aux deux extrémités, et à rechercher une sécurisation permettant de faire varier la limite des domaines de compétence de chacun.

On va maintenant examiner comment traduire ces principes, en se reportant aux figures 6 et 7.

Comme dans la description ci-après il sera souvent fait appel à la structure d'un noeud représentée sur la figure 7, on a rassemblé ci-dessous la signification des différents organes désignés par des lettres.

EG : entrée gauche	GB : Gestionnaire de boucles
ED : Entrée droite	E : Entrée
SG : Sortie gauche	S : Sortie
SD : Sortie droite	EI : Extracteur/Injecteur
BD : Bus de données	BA : Bus d'adresses
BT : Base de temps	FGD : Fifo de gestion dynamique
P_d : Porte dynamique	P_s : Porte statique
C_1 : Comparateur	C_2 : Comparateur
NA : Numéro abrégé	RS : Registre de sélection
R_1, R'_1 : Registres	R_2, R'_2 : Registres
F_1E : FiFo d'entrée	F_2E : FiFo d'entrée
F_1S : FiFo de sortie	F_2S : FiFo de sortie
A : Attention ; DI : Data In ; DO : Data Out	
ST : Synchronisation Trame ; CO : Clock Out	
FSV : FiFo sortie vide.	

Tous les noeuds sont identiques. chacun dispose de 2 entrées EG et ED, de deux sorties SD et SG et d'une logique L. Il peut fonctionner dans 4 modes, en appelant L la partie logique :

1. EG vers L vers SD et ED vers SG: cas d'un noeud intermédiaire gauche n_j .
2. EG vers L vers SG (ED et SD n'étant reliés à rien) : cas du dernier noeud à gauche n_m .
3. ED vers L vers SD (EG et SG n'étant reliés à rien) : cas du dernier noeud à droite $(n+1)_m$.
4. ED vers L vers SG et EG vers SD : cas d'un noeud intermédiaire à droite $(n+1)_j$.

Sans trop anticiper sur la solution technique retenue, on supposera qu'elle fait appel à la transmission de trames fixes de 8kbits (correspondant donc à une fréquence de 250 trames par seconde) On supposera aussi que chaque trame comporte un motif de synchronisation et peut comporter une zone véhiculant une commande (on verra plus loin que cette zone peut être les deux premiers octets de la zone ACS d'Affectation de Capacité Statique).

Une perte de synchro sur plus de n trames ($n=16?$) met un noeud dans un mode de reconfiguration. Dans ce mode, il se met en transparence pure (c'est-à-dire que sa logique L n'injecte aucun bit). Dans ce mode de transparence, il bascule entre les modes 1 et 4, en restant pendant approximativement une durée de deux trames dans chaque, jusqu'à ce qu'il ait "accroché" la synchronisation trame.

On prendra le cas d'une initialisation complète et d'une liaison intacte. Le CNT2 n'émettra rien dans un premier temps. Le CNT1 émettra en continu une trame comportant seulement le motif de synchronisation et des 1 dans le reste de la trame. Les noeuds ayant retrouvé la synchronisation resteront dans le mode 1 où ils ont accroché, et ce de proche en proche en commençant par le noeud le plus voisin du CNT1. Si les noeuds non accrochés basculent entre le mode 1 et le mode 4 toutes les deux trames environ, on voit qu'il s'accrocheront sur le CNT1 à raison d'un peu plus d'un par trame (en moyenne, deux en 1,5 trame : au moment où un noeud s'accroche, son voisin immédiat a une chance sur deux d'être dans une phase où il s'accroche aussi, le voisin du voisin a donc une chance sur quatre, etc., c'est-à-dire qu'environ deux noeuds en moyenne s'accrochent simultanément ; le premier noeud à ne pas s'être accroché ne l'a pas fait parce qu'il était orienté dans le mauvais sens ; il a une chance sur deux de s'accrocher dès la prochaine trame et une chance sur deux d'attendre encore la suivante, mais, quand il s'accrochera, il y en aura en moyenne un autre à s'accrocher en même temps que lui). Si n_1 est le nombre de noeuds que l'on désire gérer à partir du CNT₁, on voit qu'au bout de n_1 trames, on est quasiment sûr que le dernier noeud à gérer, que nous appellerons m, s'est accroché (si l'on attend plus longtemps, tous les noeuds entre le CNT₁ et le CNT₂ finiront par s'accrocher en mode 1 sur le CNT₁ et le CNT₂ recevra l'information émise par le CNT₁ ; on pourrait aussi décider d'attendre cet instant). Avec une fréquence de 250 trames/s et un espacement des noeuds de 200m, 100 km de ligne "s'accrocheront" en 1,5s.

Les noeuds ayant accroché la synchronisation reçoivent des 1 dans toute la partie de la trame qui n'est pas le motif de synchronisation. Ils en reçoivent donc en particulier dans les deux premiers octets de la zone ACS d'Affectation de

Capacité Statique qui normalement désignent un noeud, par un numéro sur 12 bits, et une porte de ce noeud, par un numéro sur 4 bits. Le code qu'ils reçoivent dans cette zone, 65535, désigne normalement la porte 15 du noeud 4095 (qui ne doit pas exister). Il sera interprété comme donnant l'ordre de rester dans le mode de réinitialisation.

Le CNT₁ va alors adresser au noeud m, nommément désigné, un ordre de passage dans le mode 2 (une Affectation de Capacité Statique définie par son numéro de noeud et, par exemple, le numéro de porte 15). Le CNT₁ va alors recevoir, par la boucle enfin bouclée, la suite d'informations qu'il envoyait. La réinitialisation de la première boucle est terminée. Le CNT₂ peut alors procéder de même, en envoyant le motif d'initialisation sur lequel, de proche en proche, tous les noeuds restant vont s'accrocher. Il n'y a en effet pas de concurrence à redouter du CNT₁ puisque le noeud m est bouclé dans le mode 2. Lorsque tous les noeuds restant sont accrochés, le CNT₂ peut donner au plus distant m' l'ordre de passer dans le mode 3 (une Affectation de Capacité Statique définie par son numéro de noeud et, par exemple, le numéro de porte 14). L'initialisation de la deuxième bouche est terminée.

En mode normal, c'est-à-dire hors du cas d'une rupture de la liaison ou de la défaillance d'un noeud, les CNT peuvent se mettre d'accord pour déplacer la frontière de leurs zones d'action respectives. Celui qui restreint sa zone d'action doit le faire le premier, en envoyant au nouveau dernier noeud le code de bouclage. On supposera que c'est le CNT₁. Les noeuds abandonnés passent alors, à l'écoulement d'une temporisation, dans le mode de recherche de synchronisation si n₂ est le nombre de noeuds à faire passer sous l'autorité du CNT₂, celui-ci doit passer dans le mode de synchronisation pour une durée d'environ n₂ trames (les autres noeuds n'ayant pas perdu leur synchronisation). Il peut alors envoyer l'ordre de bouclage sur le nouveau dernier noeud.

On constate que, au cours de ce processus de remaniement, certains noeuds n'ont pu ni recevoir ni émettre, tandis que d'autres continuaient à recevoir mais ne pouvaient émettre. C'est donc un processus qu'il vaut mieux éviter. Si on doit l'appliquer, mieux vaut le faire noeud par noeud, de façon à diminuer la durée de la perturbation (une dizaine de ms).

En cas de rupture d'une liaison, ou de défaillance d'un noeud, le processus à mettre en oeuvre est voisin du processus qui vient d'être indiqué. Le CNT ne recevant plus d'information en retour passe dans le mode de resynchronisation, puis essaye, de proche en proche, de reboucler sur les noeuds de plus en plus proches, jusqu'à ce que la boucle s'établisse. Il sait alors quel noeud a assuré le bouclage. Il en informe l'autre CNT, qui tente d'étendre sa juridiction jusqu'au voisin de ce noeud.

3. **En ce qui concerne la gestion des transmissions**, la description qui suit suppose que l'interface entre une balise et le noeud auquel elle est raccordée se fait, comme indiqué plus loin, grâce à un FIFO d'entrée F₁E, un FIFO de sortie F₁S, un fil de contrôle en entrée ("Attention") A et deux fils de contrôle en sortie Synchro Trame et FIFO vide) ST et FSV. Elle comporte donc en principe 19 fils, qui peuvent être réduits à 12 si les fils de données sont multiplexés.

a) Cas d'un train bénéficiant d'un numéro abrégé et couvert par une balise

Soit une balise couverte depuis un certain temps déjà par un train. Le noeud connaît (depuis un certain temps) le numéro abrégé du train, qu'il a affecté à la porte à travers laquelle la balise est connectée.

Au début de chaque trame (toutes les 4 ms), le noeud écrit dans le FIFO de sortie F₁S le numéro de la nouvelle trame et émet un signal sur le fil de Synchro Trame ST. Lorsqu'elle reçoit ce signal, la balise sait que les octets destinés au train dans la trame i-1 se trouvent dans le FIFO de sortie F₁S, terminés par l'octet supplémentaire donnant le numéro de la nouvelle trame. Le nombre des octets de données reçus par un noeud au cours d'une trame est toujours égal au nombre des octets transmis par le noeud dans cette même trame. Il est donc connu de la balise, qui a dû noter ce nombre lors de la trame précédente. La balise peut "prendre de l'avance" dans la lecture des octets de données, en testant la vacuité du FIFO.

La balise est à même de transmettre au train, lorsqu'il l'interrogera, les octets de données reçus. Elle doit aussi indiquer au train le numéro de la nouvelle trame, ce qui l'aide à garder la synchronisation, qui n'a besoin d'être qu'approximative.

C'est la responsabilité de la balise d'avoir alimenté à temps le FIFO d'entrée F₁E avec (au moins) le nombre d'octets à transmettre dans la nouvelle trame i, et c'est donc la responsabilité du train de les lui avoir fournis à temps. La balise reçoit l'indication du nombre d'octets à transmettre (et les octets de données correspondants) de la part du train. Ce nombre sera le plus souvent le même d'une trame à l'autre, mais rien n'interdit qu'il varie, selon une loi connue du train. Les transmettre à temps signifie qu'ils doivent avoir été rangés dans le FIFO d'entrée F₁E avant que le noeud ait l'occasion de les émettre. Comme la balise ne connaît pas ce moment, elle doit supposer que la transmission commence dès l'octet 64 de la trame, mais rien ne lui interdit de prendre de l'avance. Quand le FIFO d'entrée F₁E est vide alors qu'il est sollicité pour fournir des octets de données, la transmission se fait en remplacement en recopiant les bits reçus de l'amont (ce comportement est utilisé dans le hand-over).

b) Cas d'un train couvrant une nouvelle balise alors qu'il a encore le contact avec la précédente

Si un train s'approche d'une nouvelle balise i, il entame un dialogue avec elle (mais jusqu'à un certain moment pas

avec le CNT à travers cette balise). Une fois la . qualité de la liaison satisfaisante, le train indique à la balise son numéro abrégé. Il lui indique aussi à partir de quelle trame n il désire effectuer le hand-over, c'est-à-dire utiliser la nouvelle balise i pour ses échanges avec le CNT plutôt que la balise actuelle j. Il l'indique à la balise i mais ne se soucie pas de l'indiquer à la balise j.

5 Au cours de l'intervalle correspondant à la trame i-1, la balise rentre le numéro abrégé dans le FIFO d'entrée F₁E. Puis elle envoie un signal sur le fil d'Attention A. Ceci provoque la lecture du numéro abrégé par le noeud, sa recopie dans le registre de sélection associé à la porte ainsi que dans le FIFO de sortie F₁S. La balise a ainsi l'occasion de vérifier que le numéro abrégé a été correctement reçu et, dans le cas contraire, de le transmettre à nouveau.

10 Le train transmet à la balise i les données à envoyer dans la trame n. La balise les entre dans le FIFO d'entrée F₁E qui la raccorde à son noeud. Au cours de la transmission de cette trame n, c'est encore à partir de la balise j que le train doit lire les données qui lui étaient destinées dans la trame n-1.

15 Comme le train n'a envoyé à la balise j aucune donnée à transmettre dans la trame n, le FIFO d'entrée F₁E de celle-ci ne peut fournir de données lorsque le mécanisme de sélection lui en donne l'occasion. La vacuité du FIFO d'entrée F₁E provoque non seulement la non-émission et son remplacement par la retransmission transparente des octets reçus du noeud en amont mais aussi la désélection de la porte, c'est-à-dire la remise à 0 du registre de sélection associé à la porte à laquelle est connectée la balise j. Le noeud j est redevenu disponible pour un prochain train.

20 Il faut noter que tout underrun a les mêmes effets qu'une fin d'utilisation de balise. IL faut donc éviter le blocage qui résulterait de ce que le FIFO d'entrée F₁E peut contenir la fin des données à transmettre, qui empêcherait la réinitialisation par le train ayant provoqué l'underrun ou l'initialisation par le train suivant. C'est pourquoi l'underrun doit provoquer, au début de la trame suivante, la purge du contenu éventuel du FIFO.

c) Cas d'un train couvrant une nouvelle balise alors qu'il n'était plus couvert mais possède un numéro abrégé

25 Lorsqu'un contact de qualité est établi avec la balise, le train lui transmet son numéro abrégé et l'indication de la trame à partir de laquelle il souhaite émettre (en principe, la suivante). Le noeud, connaissant le numéro abrégé mais n'ayant pas reçu dans la trame d'indication de capacité affectée au train, émet en fin de trame une demande d'affectation de capacité. Il se passera un certain nombre de trames avant que le CNT ait reçu cette demande, l'ait traitée et décidé d'une affectation et puisse l'indiquer dans une trame au départ. Jusqu'à ce moment, le noeud réémettra la demande d'affectation dans chaque trame. Lorsqu'il recevra une affectation, il saura que les octets correspondant dans 30 la trame reçue sont à transmettre à la balise, le numéro de la trame sera pour le train l'indication implicite du nombre d'octets transmis et donc à renouveler. La liaison ne sera restée inactive que, en pratique, le temps physique de parcours de la boucle plus une durée de trame (ou deux ?).

35 Il est vraisemblable que les données transmises par le CNT à travers les deux dernières trames envoyées à la balise précédente n'ont pas pu être reçues par le train (à moins que celui-ci n'ait délibérément décidé de cesser d'émettre alors qu'il était encore bien couvert par cette balise). C'est la responsabilité de la procédure utilisée entre le CNT et le train (ou des processus de niveau plus élevé) d'assurer la reprise nécessaire.

d) Cas d'un train couvrant une nouvelle balise alors qu'il ne dispose pas encore d'un numéro abrégé

40 Un train ne disposant pas encore d'un numéro abrégé (parce qu'il arrive dans la zone couverte par le CNT sans annonce par le CNT qu'il a quitté ou parce qu'il sort d'une période d'inactivité) utilise comme numéro abrégé une valeur nulle. Ceci est détecté par le noeud lors du chargement du registre de sélection et provoque l'envoi par lui au CNT d'un message demandant l'affectation d'une capacité de multiplexage statique avec le train, défini non pas par le numéro abrégé qu'il n'a pas encore mais par le numéro du noeud et de la porte à laquelle la balise est raccordée.

45 Le lien ainsi établi l'est entre un processus d'adressage et d'affectation de capacité dans le CNT et un processus d'initialisation dans le train. Cet échange permet au train d'indiquer son numéro d'engin complet et ses désirs de capacité. En retour, dans la mesure où il dispose de numéros abrégés libres, le CNT indique au train le numéro abrégé qu'il doit utiliser et le débit affecté (combien de fois 32 octets par trame, ou dans chacune des 16 trames d'une multitrane si cette capacité n'est pas constante). Une fois terminé ce dialogue initial, le CNT rompt la liaison statique. La balise, 50 après avoir constaté cette rupture par le fait qu'elle ne reçoit plus d'octet dans le FIFO de sortie F₁S, initialise l'échange dynamique en plaçant dans le FIFO d'entrée F₁E, le numéro abrégé du train et en envoyant au noeud le signal d'Attention par A.

55 La désaffectation d'un numéro abrégé est automatique, sur écoulement d'une temporisation sans transmission (de 5 minutes par exemple). Pour éviter une erreur d'interprétation, le CNT attend encore un certain délai avant de réaffecter le même numéro abrégé à un autre train.

Lorsqu'une transmission à capacité dynamique est établie, le train peut avoir à demander au CNT d'en modifier le débit (par exemple en raison de l'apparition de besoins nouveaux ou de leur disparition). Il doit le faire à travers le flux de données qu'il envoie au CNT, dont on suppose qu'un certain sous-ensemble est destiné à la gestion de la liaison. Le CNT peut de lui-même modifier le débit, soit en raison d'une modification des besoins, soit pour répartir la pénurie.

e) Raccordement des objets à capacité statique

Le raccordement des objets bénéficiant d'une capacité statique (station fixe de radio sol-trains ou contrôleur d'aiguille, par exemple) est assez semblable à celui des trains, à quelques différences près :

- le débit peut être rendu régulier par l'utilisation de FIFOs; comme il est relativement lent, les données peuvent être échangées sur une liaison série; deux fils suffisent, un par sens.
- la capacité étant fixe ne nécessite pas de fil de contrôle autre qu'une horloge, fournie par le noeud, et donnant le rythme bit,
- la capacité "fixe" peut cependant être modifiée par le CNT; l'intérêt est, par exemple, de tester à faible cadence le contrôleur d'une aiguille dont ne s'approche aucun train et d'augmenter la cadence lorsqu'un train s'approche (contrôle "impératif"); le noeud peut parfaitement être télécommandé et faire varier le rythme de l'horloge bit qu'il fournit à l'unité raccordée.

On peut même envisager une variation du débit statique commandée localement. Une application en serait des bornes d'accès téléphonique mises à la disposition d'agents de l'équipement (en principe, pas des mécaniciens, car l'arrêt d'une locomotive au-dessus d'une balise offre un débit permanent et élevé). L'agent devrait enficher un équipement comportant le combiné, le clavier d'appel et l'équipement de conversion approprié (numérique-analogique, avec filtrage, et inversement). Une variante serait que l'équipement enfiché soit lui-même la base d'un téléphone sans fil permettant un accès distant dans une zone d'une centaine de mètres. Le problème de transmission posé est de ne fournir une liaison qu'à partir du moment où l'équipement est enfiché, et le cas échéant de fournir un débit différent durant la phase d'appel et d'établissement de la communication et durant la phase de conversation. Il faudrait installer un bouton d'appel dont l'effet soit l'émission par le noeud d'une demande de débit avec la porte à laquelle la borne est connectée.

4. En ce qui concerne le format de la trame, il est proposé ci-après un format, présenté dans le seul but de montrer la faisabilité du système et son degré de complexité. On fait le choix d'une longueur de trame de 1024 octets. Ce choix résulte d'un compromis entre le désir d'associer un nombre suffisant d'octets de données (ici jusqu'à 955) à l'overhead (ici 69 octets) et celui d'assurer l'efficacité de la gestion dynamique de capacité grâce à une fréquence trame élevée (ici 250 trames/s pour un débit de 2,048 Mbit/s).

- octets 0-2 : NTS Numérotation de Trame et Synchronisation
- octets 3-31 : ACD Affectation de Capacité Dynamique
- octets 32-36 : ACS Affectation de Capacité Statique
- octets 37-n : DMS Données Multiplexées Statiquement
- octets n-991 : DMD Données Multiplexées Dynamiquement
- octets 992-1023 : RCD Requêtes de Capacité Dynamique

NTS Numérotation de Trame et Synchronisation (octets 0-2)

Les octets 0 et 1 contiennent un motif de synchronisation. L'octet 2 contient un numéro de trame. Seuls les quatre derniers bits servent à définir la trame dans la multitrame, mais l'ensemble des 8 bits permet de distribuer une horloge avec une période d'environ une seconde. Le numéro de trame sert d'une part à assurer un sous-multiplexage permettant d'offrir des débits faibles à certaines portes et d'autre part à coordonner les hand-overs.

ACD Affectation de Capacité Dynamique (octets 3-31)

Chacun des octets 3 à 30 (l'octet 31 contient toujours 0) affecte à un certain train une capacité de transmission de 32 octets dans la zone DMD de Données Multiplexées Dynamiquement de la trame. Le train concerné est désigné par un numéro abrégé, de 1 octet, qui lui a été affecté préalablement par le Centre Nodal de Transmission (CNT). Un même train peut se voir affecter une capacité multiple de 32 octets dans la trame, qui n'a pas à correspondre à des zones jointives de DMD. Il peut aussi avoir un nombre de zones qui varie d'une trame à l'autre mais d'une façon convenue à l'avance en fonction du numéro de la trame dans la multitrame. Pour une fréquence trame de 250, chaque incrément de capacité de 32 octets correspond à un incrément de débit de 64 000 bit/s. Le plus petit débit qu'il est possible d'affecter dynamiquement est de 32 octets toutes les 16 trames, soit 4 kbit/s. Le plus élevé est de 28 x 32 octets par trame, soit 1.792 Mbit/s. L'adresse 0 n'est jamais affectée à un train et son emploi dans ACD permet donc de ne pas affecter une zone de mémoire (mais elle fait peut-être l'objet d'une affectation statique). Il n'est pas prévu de mécanisme de diffusion générale à tous les trains. La raison en est la difficulté non pas de faire parvenir l'information aux noeuds mais de la délivrer aux trains en la superposant aux informations normalement délivrées. On pourrait toutefois envisager la diffusion d'une alerte utilisant un fil supplémentaire de l'interface. Un message plus complexe doit en principe être adressé individuellement à chaque train par le CNT.

ACS Affectation de Capacité Statique (octets 32-36)

Cette zone permet la modification des capacités affectées au multiplexage semi-statique (zone DMS). Une seule capacité peut être modifiée par trame. La zone ACS est constituée de 3 sous-zones :

- la première, de 12 bits, désigne un noeud. Les noeuds ont un numéro fixé en EPROM. Deux numéros identiques ne doivent pas se trouver dans une zone de ligne gérée, en normal ou en secours, par un même CNT; le numéro 4095 est réservé au mode de reconfiguration,
- la deuxième zone, de 4 bits, désigne une porte du noeud; les portes 14 et 15 sont réservées au mode de reconfiguration,
- la troisième zone, de 24 bits, désigne les octets affectés. Les 14 premiers bits désignent une adresse d'octet dans la trame (10 bits) et un numéro de trame dans une multi-trame (4 bits). Les 9 bits suivants constituent un masque disant desquels des 9 derniers bits de la zone précédente ne pas tenir compte : les 5 premiers sont relatifs aux 5 derniers bits de la zone d'adresse et les 4 derniers au numéro de trame. Ainsi, un masque nul représente une capacité de 1 octet par multitrame soit, pour une fréquence de trame de 250, un débit de 125 bit/s; un masque de 111 (en binaire) représente une capacité d'un octet dans une trame sur deux, soit un débit de 1 kbit/s; un masque de 111111 représente une capacité de 4 octets dans chaque trame, soit un débit de 8 kbit/s. Une valeur de 0 dans la zone d'adresse supprime une allocation précédente.

On notera que la variante suivante se serait contentée de 16 bits pour indiquer les octets affectés, mais elle est d'un maniement moins souple. Les 14 premiers bits désignent, avec une précision peut-être inutile comme on va le voir, une adresse d'octet dans la trame (10 bits), suivi d'un numéro de trame dans la multitrame (4 bits). Tous les 0 qui terminent la zone indiquent de combien des bits de poids faibles parmi les 14 premiers ne pas tenir compte. A titre d'exemple, la valeur (exprimée en binaire) 1100110011010111 affecte l'octet d'adresse 1100110011 dans la trame 0101, soit un débit de 125 bit/s. La valeur 1100110011011100 affecte la même adresse dans 1 trame sur 4, soit un débit de 1 kbit/s. La valeur 1100110010000000 affecte les 8 octets d'adresse 1100110000 à 1100110111 dans chaque trame, soit un débit de 16 kbit/s.

Dans les trames que le CNT n'utilise pas pour modifier les affectations statiques, les 40 bits émis par lui sont à 0. La nullité des 16 premiers bits peut être mise à profit par un noeud pour demander une affectation statique à l'une de ses portes dynamiques, comme il a été indiqué pour le mécanisme d'affectation d'un numéro abrégé à un train n'en possédant pas encore, voire à une de ses portes statiques, comme la possibilité en a été évoquée pour le raccordement de téléphones. Ce noeud, constatant la nullité des 16 premiers bits, inscrit son propre numéro et celui de la porte concernée dans les 16 derniers. Bien entendu, il est possible que plusieurs noeuds agissent de même au cours d'une même trame. Le mécanisme indiqué montre que c'est le dernier traversé "qui gagne". Comme un noeud émettra la même demande, trame après trame, jusqu'à avoir obtenu un numéro abrégé pour la porte en question, cette collision ne présente pas d'autre inconvénient que de retarder l'affectation.

DMS Données Multiplexées Statiquement (octets 37-n)

La zone DMS de Données Multiplexées Statiquement est gérée selon le multiplexage statique ou plus exactement faiblement dynamique dont le mécanisme d'affectation est indiqué par la zone ACS d'Affectation de Capacité Statique. Par le jeu des multitrames, les débits individuels peuvent s'échelonner entre 125 bit/s et 64 kbit/s.

DMD Données Multiplexées Dynamiquement (octets n-991)

Ensemble de zones de 32 octets affectées dynamiquement à la transmission avec les trains selon les indications fournies par la zone ACD d'Affectation de Capacité Dynamique. La limite n de séparation entre la zone DMS de Données Multiplexées Statiquement et la zone DMD de Données Multiplexées Dynamiquement est gérée par le CNT et n'est pas connue des noeuds (et n'a pas à l'être). Les zones DMS et DMD peuvent même être imbriquées.

RCD Requêtes de Capacité Dynamique (octets 992-1023)

Chaque bit de cette zone correspond à un train, défini par son numéro abrégé. Le CNT met initialement à 0 la totalité de la zone. Chaque noeud traversé peut mettre à 1 certains bits, mais pas à 0 (c'est-à-dire que chaque noeud transmet vers l'aval la fusion logique de ce qu'il a reçu de l'amont et de ce qu'il a rajouté). Il met à 1 la position correspondant à un train dont une de ses portes comporte le numéro abrégé dans son registre de sélection si, pour ce train, il n'a pas été dans l'impossibilité de fournir les octets demandés par l'intermédiaire de la zone ACD. En d'autres termes, il met un 1 pour un train qui a fourni la totalité des octets demandés ou pour lequel aucune capacité de transmission n'a encore été affectée. Pour un train dont une de ses portes contient le numéro abrégé, il ne met pas un 1 s'il y a eu underrun et

en particulier si aucun octet n'a été fourni. Ce dernier cas peut être celui d'un train qui a cessé d'être couvert (et c'est par ce mécanisme que le CNT en est avisé) ou celui d'un train couvert de façon continue mais qui vient d'effectuer un hand-over. Dans ce dernier cas, le CNT ne sera même pas avisé : il recevra quand même un 1, mais ce 1 aura été ajouté par le noeud auquel est raccordée la nouvelle balise.

5 5. En ce qui concerne l'architecture d'un noeud, celle-ci peut être résumée de façon synthétique comme indiqué ci-après (figure 7).

1. Interfaces Externes

10 Interface Statique

Entrée :

- 1 fil Data In, DI
- 15 - 1 fil Attention (dans le cas de bornes d'accès téléphonique) A

Sortie :

- 1 fil Data Out, DO
- 20 - 1 fil Clock Out, CO

On retiendra que le débit binaire est susceptible de changer. Par exemple, si la porte correspond à un contrôleur d'aiguille, un centre de contrôle peut demander, à l'approche d'un train un débit de 4 kbit/s et se contenter, à d'autres moments, d'un débit de 125 bit/s.

25 Interface dynamique

Entrée :

- 30 - 8 fils Data In, DI
- 1 fil Attention, A

Sortie :

- 35 - 8 fils Data Out, DO
- 1 fil Synchro Trame, ST
- 1 fil FIFO Sortie vide, FSV

On notera que les 8 fils de Data In et 8 fils de Data Out peuvent être remplacés par 8 fils de Données, bidirectionnels, et un fil de sélection de sens, géré par l'organe raccordé. Une interface parallèle semble préférable à une interface série, à la fois parce que les faibles distances entre balise et noeud le permettent (quelques mètres) et qu'il semble intéressant de réduire le débit, celui-ci pouvant être élevé, l'environnement électriquement pollué et le mode de transmission devant rester simple.

45 2. Architecture interne

L'architecture du noeud peut se décomposer en un certain nombre d'organes communs, assurant les fonctions suivantes :

- 50 a) reconfiguration,
- b) extraction-injection,
- c) base de temps,
- d) gestion des capacités,

55 et gérant un bus d'adresses BA et un bus de données BD (ce dernier étant un bus série) et, raccordées à ces bus :

- des portes à gestion dynamique Pd,
- des portes à gestion statique Ps.

a) Reconfiguration

Comme il a été indiqué plus haut dans le commentaire relatif à la gestion des défaillances, le noeud dispose de 2 entrées EG et ED et de deux sorties SD et SG et il peut fonctionner dans 4 modes suivant la position qu'il occupe dans la boucle considérée.

L'organe de reconfiguration assurant les fonctions décrites plus haut comporte seulement les relais électroniques assurant les contacts correspondant aux quatre modes. C'est la base de temps BT qui doit rechercher la synchronisation, envoyer le code ordonnant le basculement dans les modes 1 et 4 alternativement (avec une période pour deux alternances correspondant à la durée d'environ 4 trames) aussi longtemps qu'elle n'a pas trouvé la synchro, inhiber toute émission autre qu'une répétition aussi longtemps qu'elle reconnaît le code OFFFF (hexadécimal) dans la zone ACS, et reconnaître un éventuel ordre de passage en mode 2 ou 3.

Un problème technologique éventuel à signaler est qu'au cours de la resynchronisation, il arrivera que deux balises voisines cherchent l'une et l'autre simultanément à "driver" la liaison entre elles.

b) Extraction-Injection

Les performances globales de la boucle sont en partie liées au temps de traversée de chaque noeud. Il paraît impossible de descendre en dessous d'un temps bit mais il est souhaitable de ne pas monter au-dessus, en particulier de ne pas rajouter un temps-octet.

Malgré le passage d'un mode HDB3 à un mode binaire pur et inversement, il doit être possible de répéter avec un délai de 1 temps bit (nécessaire en particulier pour générer les viols de parité appropriés). Il faut que le bit destiné à remplacer éventuellement un bit reçu soit disponible en même temps que ce bit. En pratique, cela signifie qu'il faut d'une part un registre de 8 bits se remplissant en permanence à partir des bits reçus de l'amont et parfois recopié sur un bus, et un registre de 8 bits que l'on puisse vider en série sur la liaison aval, qui soit au plus tard chargé quand on a besoin du premier de ses bits. Une bascule d'injection doit sélectionner l'entrée série amont ou la sortie série aval du registre d'écriture. Ces registres peuvent être répartis et dupliqués dans les portes si on décide d'utiliser un bus série pour le transfert des données. L'ensemble de ces fonctions est rassemblé dans la figure 7 sous la référence E/I.

Il est sans doute opportun d'indiquer les temps de réaction à attendre. Si la distance de CNT1 à CNT2 est de 200 km et si la vitesse de propagation dans le câble est de 200 000 km/s, s'il y a un noeud tous les 200 m, donc dans les cas de reconfiguration extrêmes 1000 noeuds traversés chacun deux fois, si le temps de traversée est de 1 temps-bit, alors la durée globale de parcours de la boucle est de 3 ms, soit un peu moins d'une période trame. Si le CNT a une puissance de traitement infinie, c'est-à-dire s'il est capable de tenir compte dans une trame qu'il émet des demandes de capacité qu'il a reçues dans la précédente, il s'écoule entre le moment où un train demande une capacité de transmission et celui où il l'obtient 4 périodes de trame. Pour tenir compte des durées de traitement, il est plus raisonnable de tabler sur 5 périodes de trame, soit 20 ms. Cette durée correspond à un parcours de 2 m pour un TGV circulant à 360 km/h, et de 1 m pour une locomotive circulant à 180 km/h. Elle n'affecte donc pas exagérément la capacité de transmission d'un train ne disposant pas d'une couverture continue. On voit que l'enjeu d'avoir un délai de traversée de 1 temps bit plutôt qu'un temps octet est de l'ordre de 4 ms. Il serait donc malgré tout acceptable de "prendre son temps". Ajoutons que, dans le cas d'une locomotive ne disposant que d'un octet par multi-trame, la requête est émise dès la première trame, mais le délai d'attente de capacité peut être allongé de 15 trames, soit 60 ms, soit encore 3 m pour une locomotive circulant à 180 km/h. On voit tout l'intérêt d'équiper le lecteur hyperfréquences d'une antenne à couverture allongée, câble à pertes ou guide d'ondes à fentes.

c) Base de Temps

La base de temps BT a des fonctions multiples :

- elle reconstitue le rythme bit à partir de la réception amont et, en l'absence de réception, synthétise un rythme approximativement égal,
- elle crée le rythme de trame,
- elle recherche le motif de synchronisation (en attendant sa fin en temps normal dans le deuxième ou le troisième octet de ce qu'elle s'attend à être la nouvelle trame); si le motif n'est pas trouvé dans plus de n trames consécutives, elle passe dans le mode de resynchronisation où elle le cherche partout,
- elle lit le numéro de trame à la suite du motif de synchronisation,
- elle multiplexe sur un bus parallèle d'adresses BA, le numéro de trame et de bit (17 fils) et le numéro abrégé de train (8 bits) fourni par le FIFO de gestion dynamique FGD, un 18ème fil assurant le multiplexage entre les deux informations (ou encore, dans un premier temps le numéro de bit (13 bits) et dans un deuxième temps le numéro de trame (4 bits) et le numéro abrégé de train (8 bits), ce qui limite à 14 le nombre de fils du bus,
- elle reconnaît les ordres concernant une porte série, dans les octets 32-33 et envoie à la porte appropriée un signal

de sélection à la fin de l'octet 36 pour que celle-ci enregistre les informations présentées sur le bus série de données BD,

- elle présente une information de validation aux portes parallèles pendant les octets 992-1023, de façon que celles-ci, si elles ont reconnu le numéro abrégé de leur train dans les 8 bits de poids faible du bus d'adresses BA, ajoutent un 1 sur le bus série d'écriture si elles n'ont pas connu d'underrun lorsqu'il leur a été demandé de fournir des octets de données,
- elle envoie une impulsion d'écriture au FIFO de gestion dynamique FGD pendant les octets 0 à 31, et lui présente un octet 0 sur le bus de données pendant les octets 0, 1, 2, et 31; elle envoie à ce FIFO une impulsion de lecture tous les 32 octets et lui donne la maîtrise de 8 fils du bus d'adresse BA dans une phase sur deux de la présentation d'adresses sur ce bus.

d) Gestion des Capacité et Portes

La gestion des capacités dynamiques passe par l'écriture et la lecture du FIFO de gestion dynamique FGD. Ce FIFO est rempli, à partir des octets 0 à 31 de la trame (les octets 0-2 et 31 correspondant à un bourrage). Chaque octet non nul représente le numéro abrégé d'un train autorisé à utiliser le groupe de 32 octets correspondant à son rang dans le FIFO pour recevoir et émettre des données. En conséquence, chaque octet du FIFO est présenté, pendant 32 temps octets de suite, sur le bus d'adresse BA (où il est multiplexé avec le temps bit et le numéro de trame) et c'est les portes à gestion dynamique qui comparent en C_1 et NA le numéro abrégé de train présenté à celui qui est inscrit dans leur registre d'affectation. En cas de concordance, à chaque temps octet, elles lisent un octet dans le FIFO d'entrée F_1E et en écrivent un dans le FIFO de sortie F_1S . Attention : la lecture d'un octet doit intervenir avant de l'injecter sur la ligne; l'écriture d'un octet ne peut intervenir qu'après qu'il ait été reçu. Comme le délai de traversée d'un noeud n'est que de 1 temps bit, toutes les écritures doivent intervenir (presque) un temps octet avant les lectures de la même adresse. Une solution est que la porte Pd recopie tous les temps octet le fait qu'elle a lu, et n'écrit que lorsqu'elle a lu un octet plus tôt. Il est sans doute souhaitable que le transfert des données se fasse en série sur un fil bit par bit plutôt qu'en parallèle octet par octet.

La gestion des capacités statiques et des rythmes gérés par RS se fait par la comparaison en C_2 du temps octet (et numéro de trame) présenté sur le bus d'adresses BA et de ce qu'a stocké la porte comme information de commande, à savoir le même genre d'information, plus un masque explicitant de quels bits ne pas tenir compte dans la comparaison. Cette information de commande a été présentée en série, et stockée en parallèle dans un registre de 24 bits. Les transferts de données pourraient eux aussi se faire en série. La porte Ps comporte aussi un sélecteur permettant de choisir celui des fils du bus d'adresses BA à utiliser pour donner le rythme à la liaison série externe, rythme régulier même si les données arrivent par paquet.

La description qui précède de l'architecture d'un noeud ne fait appel qu'à des éléments de logique câblée. Il n'est évidemment pas exclu de réaliser certaines fonctions grâce à un microcontrôleur et au logiciel approprié.

Revendications

1. Système de transmission à courte portée entre des balises (b) au sol et des mobiles, lesdits mobiles étant équipés d'une antenne ou d'un autre dispositif rayonnant (GO), caractérisé en ce que ladite antenne ou ledit dispositif rayonnant (GO) a une couverture dans le sens du déplacement du mobile très supérieure à celle d'une balise, de telle manière que cette couverture atteigne ou dépasse la distance séparant des balises successives.
2. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 1, dans lequel l'antenne portée par le mobile est un câble rayonnant.
3. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 1, dans lequel l'antenne portée par le mobile est un guide d'ondes à fentes (GO).
4. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 3, dans lequel le mobile est constitué d'un ensemble de plusieurs véhicules portant chacun un guide d'ondes (GO) faisant office d'antenne et les guides d'ondes de deux véhicules adjacents sont reliés par un guide d'ondes souple (s_1 , s_2).
5. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 3, dans lequel le mobile est constitué d'un ensemble de plusieurs véhicules portant chacun un guide d'ondes (GO) faisant office d'antenne et les guides d'ondes de deux véhicules adjacents sont reliés par un câble coaxial (Cx) auquel ils sont adaptés.
6. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 3, dans

lequel le mobile est constitué d'un ensemble de plusieurs véhicules portant chacun un guide d'ondes (GO) faisant office d'antenne et les guides d'ondes (GO) de deux véhicules adjacents se trouvent, lorsque les véhicules sont en alignement, alignés entre eux et à faible distance l'un de l'autre de façon à permettre un couplage par rayonnement (b_1 , b_2).

5

7. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 1, dans lequel l'antenne est constituée de deux guides d'ondes à fentes (GO) tels que la zone de couverture de l'un ait au moins une partie qui dans le sens longitudinal n'appartienne pas à la zone de couverture de l'autre.

10

8. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 3 ou la revendication 7, dans lequel la longueur d'onde du signal rayonné ou de l'un des signaux rayonnés est voisine d'un sous-multiple du pas des fentes.

15

9. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 1, dans lequel une liaison en anneau relie entre eux et à un Centre Nodal de Transmission (CNT) les noeuds (N_i , N_j) auxquels sont raccordés des balises (b) qui se suivent sur la route ou la ligne de chemin de fer, ou au moins certains de ces noeuds.

20

10. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 9, dans lequel une pluralité de noeuds se trouve répartie entre deux Centres Nodaux de Transmissions (CNT_1 , CNT_2), les uns et les autres comportant des moyens pour configurer en continuité topologique deux anneaux, chacun géré par l'un des Centres Nodaux de Transmissions et comprenant des moyens pour déterminer ce partage.

25

11. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 10, dans lequel ces moyens consistent :

30

- a. en ce que tout noeud (N_j) ayant durablement perdu la synchronisation recherche alternativement sur l'entrée provenant d'un de ses voisins (N_i) et de l'autre (N_k) une certaine structure de message,
- b. en ce que, pendant qu'un noeud (N_j) effectue la recherche d'un côté, il réémet de l'autre ce qu'il reçoit,
- c. en ce qu'un Centre Nodal de Transmissions (CNT_1) émet ledit message pendant un temps suffisant pour permettre l'accrochage sur lui des noeuds de proche en proche,
- d. en ce que ce Centre Nodal de Transmissions (CNT_1) adresse nommément à un noeud (N_m), dont il désire faire le dernier noeud de l'anneau, un ordre de rebouclage.

35

12. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 9, dans lequel l'information est structurée en trames, une partie de cette information décrit à quel destinataire est affectée une partie de la trame et, le cas échéant, une autre partie de la trame est affectée de façon permanente ou semi-permanente.

40

13. Système de transmission à courte portée entre des balises au sol (b) et des mobiles selon la revendication 1, dans lequel les destinataires sont des trains et des moyens existent au niveau des trains, des balises et des noeuds pour que, par l'intermédiaire des balises avec lesquelles ils sont en contact, les trains indiquent aux noeuds qui gèrent ces balises l'information d'adressage permettant au noeud d'extraire de la trame l'information destinée au train et d'injecter dans la trame l'information en provenance du train.

45

Claims

50

1. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations, said mobile stations being equipped with an antenna or another radiating device (GO), characterized in that said antenna or said radiating device (GO) has a coverage in the direction of movement of the mobile station which is very much greater than that of one beacon, such that this coverage attains or exceeds the distance between successive beacons.

55

2. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 1, in which the antenna borne by the mobile station is a radiating cable.

3. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 1, in which the antenna borne by the mobile station is a slotted waveguide (GO).

4. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 3, in which

the mobile station is formed by a set of several vehicles each bearing a waveguide (GO) acting as an antenna and the waveguides of two adjacent vehicles are connected by a flexible waveguide (s_1 , s_2).

- 5 5. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 3, in which the mobile station is formed by a set of several vehicles each bearing a waveguide (GO) acting as an antenna and the waveguides of two adjacent vehicles are connected by a coaxial cable (Cx) to which they are adapted.
- 10 6. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 3, in which the mobile station is formed by a set of several vehicles each bearing a waveguide (GO) acting as an antenna and the waveguides (GO) of two adjacent vehicles, when the vehicles are in alignment, are aligned with each other and at a short distance from one another so as to permit coupling by radiation (b_1 , b_2).
- 15 7. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 1, in which the antenna is formed by two slotted waveguides (GO) such that the zone of coverage of one has at least one part which in the longitudinal direction does not belong to the zone of coverage of the other.
- 20 8. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 3 or Claim 7, in which the wavelength of the radiated signal or of one of the radiated signals is close to a sub-multiple of the pitch of the slots.
- 25 9. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 1, in which a ring connection connects to each other and to a Nodal Transmission Centre (CNT) the nodes (N_i , N_j) to which beacons (b) are connected which succeed one another on the route or the railway line, or at least some of these nodes.
- 30 10. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 9, in which a plurality of nodes is distributed between two Nodal Transmission Centres (CNT_1 , CNT_2), all comprising means for configuring two rings in topological continuity, each managed by one of the Nodal Transmission Centres and comprising means for determining this distribution.
- 35 11. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 10, in which these means consist:
 - a. in that each node (N_j) having lastingly lost synchronisation searches for a certain message structure alternatively on the input from one (N_i) and the other (N_k) of its neighbours,
 - b. in that, while a node (N_j) is effecting the search on one side it retransmits from the other side what it receives,
 - c. in that a Nodal Transmission Centre (CNT_1) emits said message for a sufficient time to permit the nodes to lock on to it gradually,
 - d. in that this Nodal Transmission Centre (CNT_1) addresses a relooping command by name to one node (N_m) which it intends to make the last node of the ring.
- 45 12. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 9, in which the information is structured in frames, part of this information describes to what recipient part of the frame is assigned and, if applicable, another part of the frame is assigned permanently or semi-permanently.
- 50 13. A short-range transmission system between ground beacons (b) and mobile stations according to Claim 1, in which the recipients are trains and means exist at the trains, the beacons and the nodes so that, by means of the beacons with which they are in contact, the trains indicate to the nodes which manage these beacons the addressing information permitting the node to extract from the frame the information intended for the train and to inject into the frame the information coming from the train.

55 Patentansprüche

1. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Kennzeichen bzw. -Baken (b) und Fahrzeugen, wobei diese Fahrzeuge mit einer Antenne oder einer anderen ausstrahlenden Einrichtung (GO) ausgerüstet sind, **dadurch gekennzeichnet**,

daß besagte Antenne oder diese ausstrahlende Einrichtung (GO) in der Fortbewegungsrichtung des Fahrzeugs einen sehr viel größeren Abdeckungsbereich als eine Bake hat, so daß diese Abdeckung den Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Baken erreicht oder überschreitet.

- 5 2. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 1, bei dem die durch das Fahrzeug getragene Antenne ein ausstrahlendes Kabel ist.
3. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 1, bei dem die durch das Fahrzeug getragene Antenne ein Wellenleiter (GO) mit Schlitzten ist.
- 10 4. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 3, bei dem das Fahrzeug gebildet wird durch eine Einheit von mehreren Fahrzeugen, von denen jedes einen als Antenne dienenden Wellenleiter (GO) trägt und die Wellenleiter von zwei benachbarten Fahrzeugen verbunden sind durch einen biegsamen Wellenleiter (s_1, s_2).
- 15 5. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 3, bei dem das Fahrzeug gebildet wird durch eine Einheit von mehreren Fahrzeugen, von denen jedes einen als Antenne dienenden Wellenleiter (GO) trägt und die Wellenleiter von zwei benachbarten Fahrzeugen verbunden sind durch ein Koaxialkabel (Cx), an das sie adaptiert sind.
- 20 6. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 3, bei dem das Fahrzeug gebildet wird durch eine Einheit von mehreren Fahrzeugen, von denen jedes einen als Antenne dienenden Wellenleiter (GO) trägt und die Wellenleiter (GO) von zwei benachbarten Fahrzeugen, wenn diese Fahrzeuge miteinander fluchten, mit geringem Abstand voneinander ebenfalls fluchten, um eine Kopplung durch Strahlung (b_1, b_2) zu ermöglichen.
- 25 7. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 1, bei dem die Antenne gebildet wird von zwei Wellenleitern (GO) mit Schlitzten, so daß der Abdeckungsbereich des einen wenigstens einen Teil aufweist, der in Längsrichtung nicht zur Abdeckungszone des andern gehört.
- 30 8. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 3 oder Anspruch 7, bei dem die Wellenlänge des ausgestrahlten Signals oder eines der ausgestrahlten Signale ungefähr aufgeht in der Schlitzte-Teilung.
- 35 9. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 1, bei dem eine Ringverbindung die Knoten (N_i, N_j) oder wenigstens einige dieser Knoten, mit denen die längs der Route bzw. Straße oder Eisenbahnlinie aufeinanderfolgenden Baken (b) verbunden sind, untereinander und mit einem Übertragungsknotenzentrum (CNT) verbindet.
- 40 10. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 9, bei dem eine Vielzahl von Knoten verteilt ist zwischen zwei Übertragungsknotenzentren (CNT_1, CNT_2), wobei die einen und die anderen Einrichtungen enthalten, um mit topologischer Kontinuität zwei Ringe zu bilden bzw. zu gruppieren, jeder von einem der Übertragungsknotenzentren verwaltet und Einrichtungen umfassend, um diese Teilung festzulegen.
- 45 11. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 10, bei denen diese Einrichtungen darin bestehen:
 - 50 - a. daß alle Knoten (N_j), die dauerhaft die Synchronisation verloren haben, alternativ an dem Eingang, der von dem einen ihrer Nachbarn (N_i) oder dem anderen (N_k) stammt, eine bestimmte Nachrichtenstruktur suchen,
 - b. daß, während ein Knoten (N_j) auf einer Seite die Suche durchführt, er auf der anderen wieder sendet, was er empfängt,
 - c. daß ein Übertragungsknotenzentrum (CNT_1) besagte Nachricht während einer ausreichenden Zeit sendet, um nach und nach das Ankoppeln der Knoten an es zu ermöglichen,
 - 55 - d. daß ein Übertragungsknotenzentrum (CNT_1) namentlich an einen Knoten (N_m), den es zum letzten Knoten des Rings machen möchte, einen Neuschleifenbildungs-Befehl adressiert.
12. Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 9, bei dem die Information rasterartig (en trame) strukturiert ist, wobei ein Teil dieser Information beschreibt, für welchen Emp-

fänger ein Teil des Rasters (trame) bestimmt ist und, möglicherweise, ein anderer Teil des Rasters bestimmt ist, auf permanente oder halb-permanente Weise.

- 5 **13.** Übertragungssystem mit kurzer Reichweite zwischen Boden-Baken (b) und Fahrzeugen nach Anspruch 1, bei dem die Empfänger Züge und auf den Zügen existierende Einrichtungen, Baken und Knoten sind, damit über die Baken, mit denen sie in Kontakt sind, die Züge den Knoten, die diese Baken verwalten, die Adressierungsinformation geben, die dem Knoten ermöglicht, dem Raster die für den Zug bestimmte Information zu entnehmen und in den Raster die vom Zug stammende Information einzugeben.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

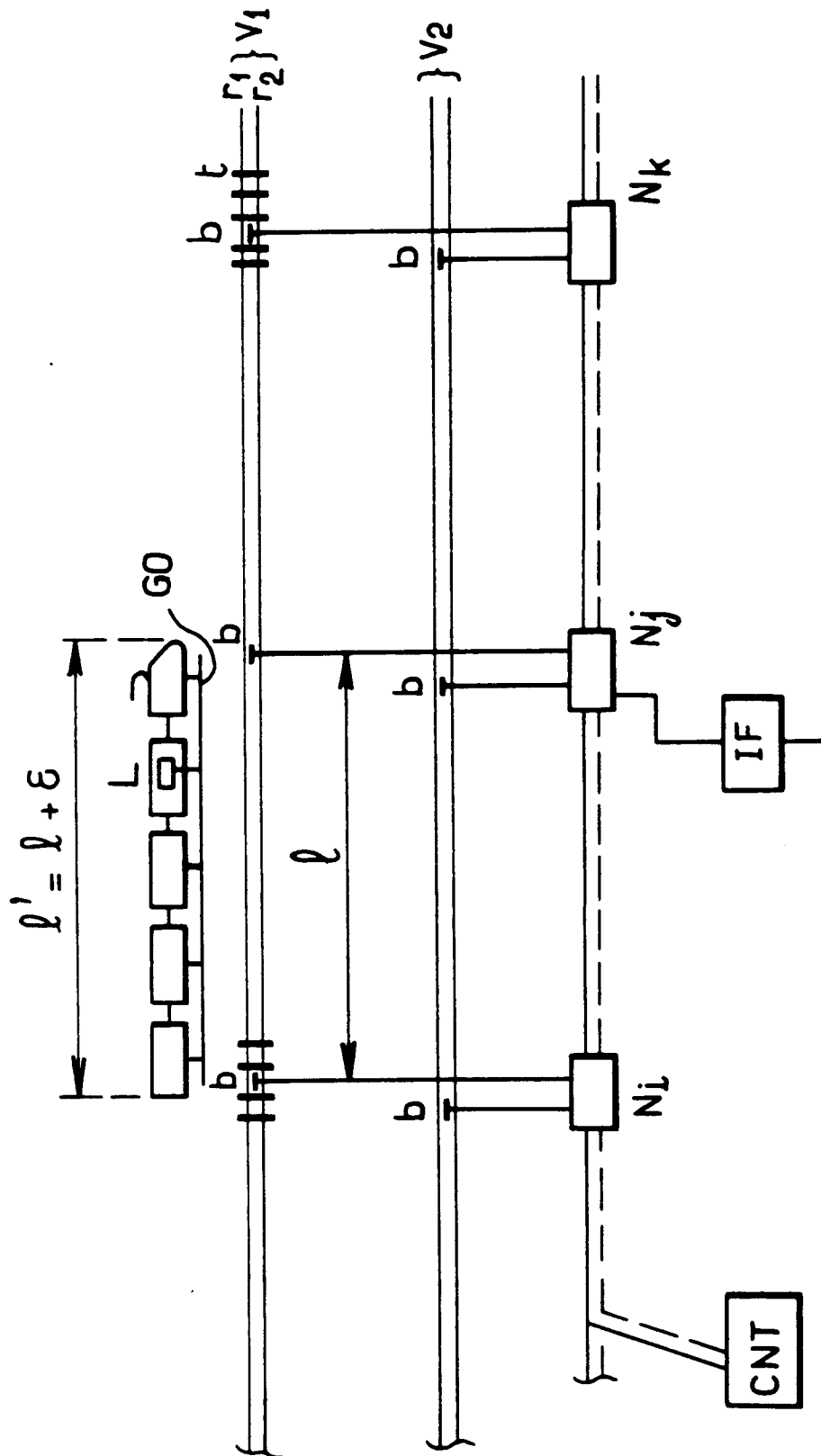


FIG.1

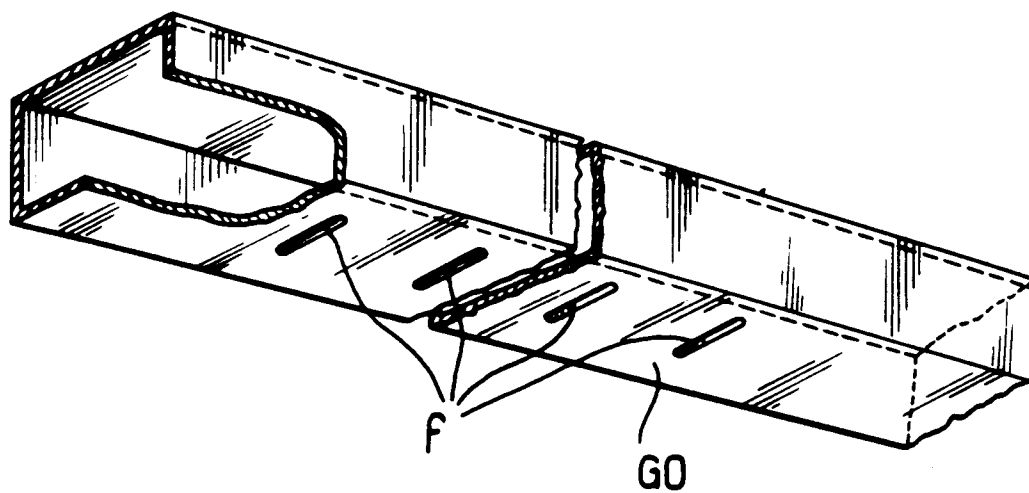


FIG. 2

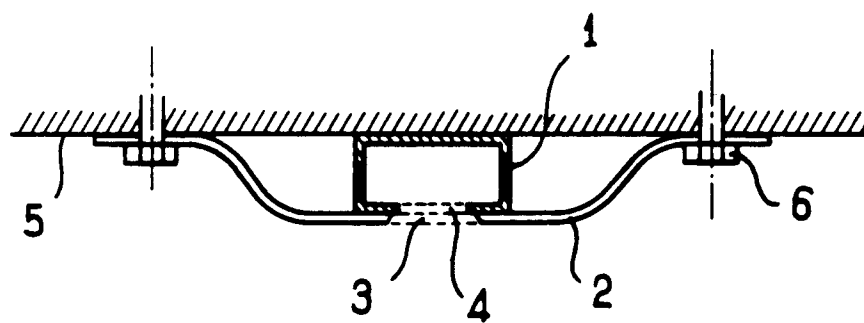


FIG. 3

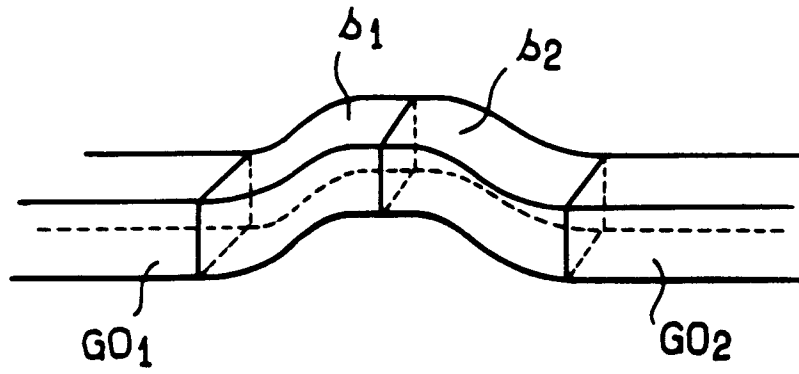


FIG. 4a

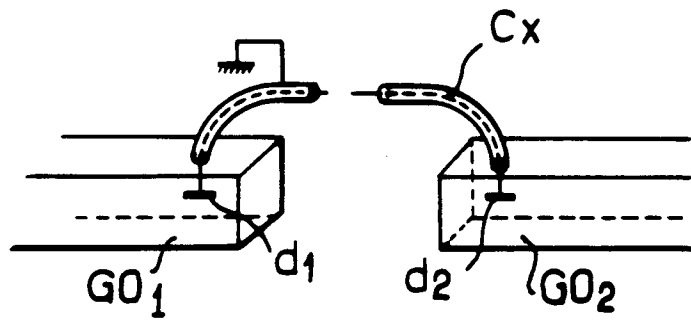


FIG. 4b

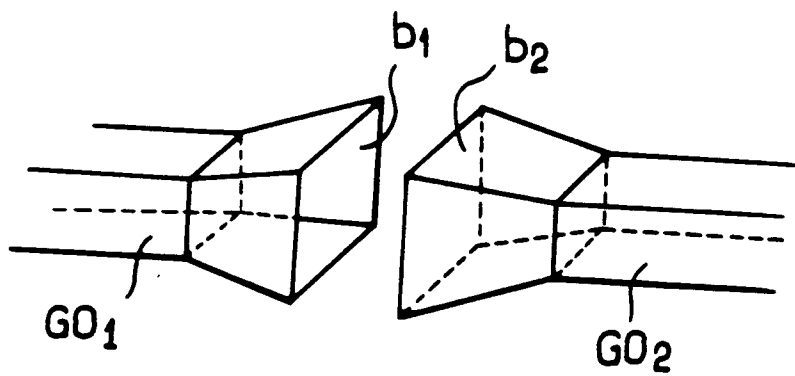


FIG. 4c

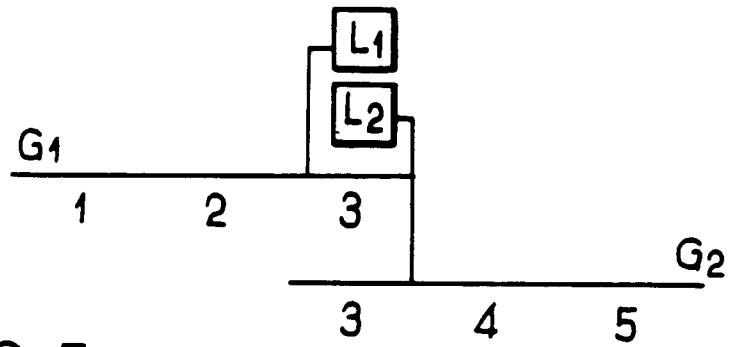
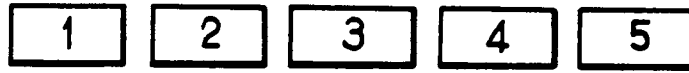


FIG. 5

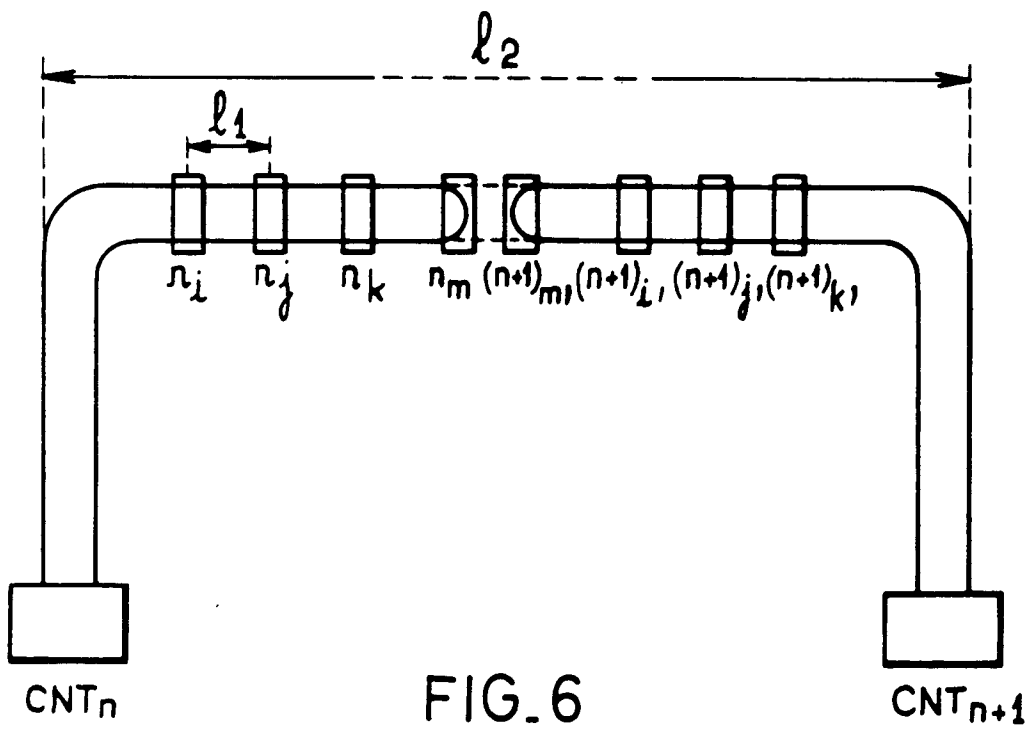


FIG. 6

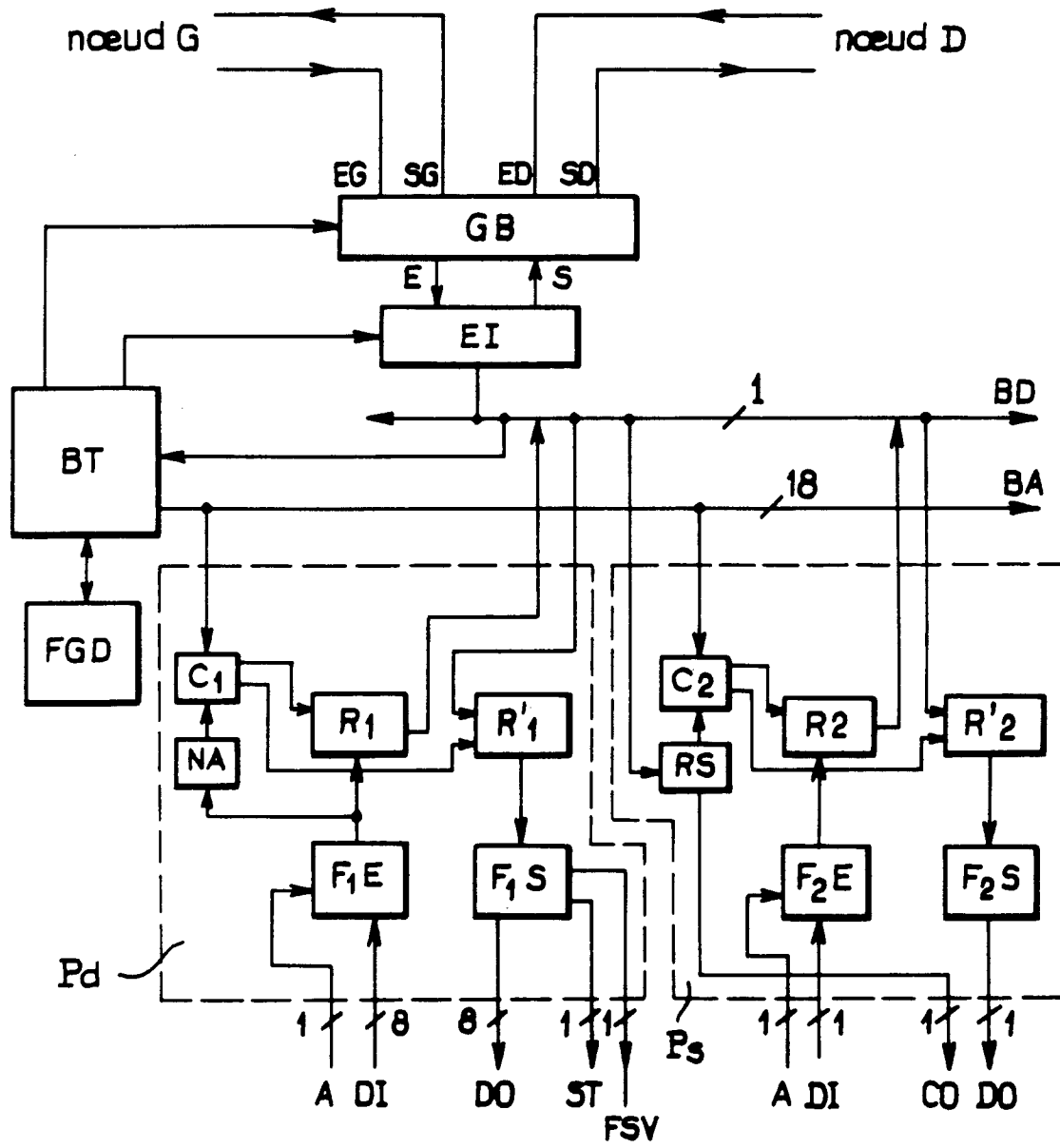


FIG. 7