

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
30 juillet 2009 (30.07.2009)

PCT

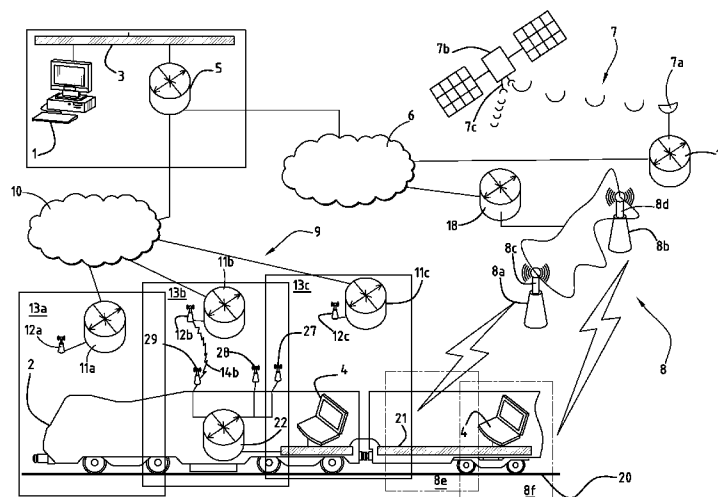
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2009/092973 A2**

- (51) Classification internationale des brevets :  
*H04L 12/56* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2009/050062
- (22) Date de dépôt international :  
16 janvier 2009 (16.01.2009)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
08 50252 16 janvier 2008 (16.01.2008) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **AL-STOM TRANSPORT SA** [FR/FR]; 3, avenue André Malraux, F-92300 Levallois-Perret (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MENACEUR, Djamil-Fayçal** [FR/CA]; 14, rue Gérard, St Colomban, Quebec, J5K 2N6 (CA). **RUFFOLO, Frank** [CA/CA]; 15 pl de Champenoux, Lorraine, Quebec, J6ZAJ7 (CA).
- (74) Mandataire : **JACOBSON, Claude**; 2 Place d'Estienne d'Orves, F-75441 Paris Cedex 09 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: IP COMMUNICATION ARCHITECTURE BETWEEN THE GROUND AND A VEHICLE

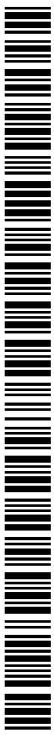
(54) Titre : ARCHITECTURE DE COMMUNICATION IP ENTRE LE SOL ET UN VÉHICULE



(57) Abstract: The invention relates to an IP communication architecture between a ground computer (1) connected to a main router (3) and a mobile computer (4) onboard a train and connected to a mobile router of said train. The architecture comprises at least one infrastructure including base stations (7b, 8a-b, 12a-c) equipped with a radio communication means and ground base routers (17, 18, 11a-c), connected to the infrastructure. Each mobile router comprises: a radio communication means adapted for establishing a wireless communication link with one of the base stations of the infrastructure, a storing means comprising IP addresses of base routers connected to the infrastructure, and a connection means for initiating a connection with a base router from said list of base routers once a wireless link is established.

(57) Abrégé : Architecture de communication IP entre un ordinateur (1) au sol, connecté à un routeur principal (3), et un ordinateur (4) mobile, embarqué à bord d'un train et connecté à un routeur mobile dudit train. L'architecture comporte au moins une infrastructure comportant des stations de base (7b, 8a-b, 12a-c)

[Suite sur la page suivante]



WO 2009/092973 A2



RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,  
ZW.

FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,  
MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ,  
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),  
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

**Publiée :**

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée  
dès réception de ce rapport

---

équipées de moyens de communication radio et des routeurs de base (17, 18, 11 a-c) au sol, relié à l'infrastructure. Chaque routeur mobile comporte : un moyen de communication radio adapté pour établir une liaison sans fil avec l'une des stations de base de l'infrastructure, des moyens de mémorisation comportant des adresse IP des routeurs de base reliés à l'infrastructure, et des moyens de connexion pour initier une connexion avec un routeur de base à partir de ladite liste de routeurs de base, après qu'une liaison sans fil a été établie.

### **Architecture de communication IP entre le sol et un véhicule**

L'invention a pour domaine celui de la communication IP entre un ordinateur au sol et un ordinateur embarqué à bord d'un véhicule terrestre tel qu'un train, un tramway, un métro, une automobile ou l'équivalent.

5 Pour l'échange de données entre un ordinateur fixe, au sol, et un ordinateur mobile, embarqué à bord d'un véhicule, on connaît, par le document WO 2005/02 2839 A1, une architecture utilisant une infrastructure de communication intermédiaire apte à établir une liaison sans fil avec une passerelle mobile, embarquée à bord du véhicule et à laquelle est connecté l'ordinateur mobile. L'infrastructure de  
10 communication comporte une pluralité de stations de base. Chaque station de base peut établir une liaison sans fil avec la passerelle mobile grâce à des moyens de communication radio lorsque le véhicule se trouve à l'intérieur de la cellule de couverture de ladite station de base. Les différentes stations de base sont agrégées entre elles et connectées par l'intermédiaire d'une passerelle intermédiaire (« Foreign Agent ») à un réseau IP. Une fois la liaison sans fil établie,  
15 la passerelle intermédiaire attribue à la passerelle mobile une adresse IP sur le réseau IP et constitue, de ce fait, un point d'accès au réseau IP. L'architecture connue comporte également une passerelle principale permettant d'assurer le routage des datagramme IP à destination de l'ordinateur mobile vers la passerelle intermédiaire adaptée. En communication montante, un datagramme IP est direc-  
20 tement routé vers l'ordinateur fixe.

Dans cette architecture connue, il n'existe qu'une unique passerelle intermédiaire pour toutes les stations de base d'une même infrastructure de communi-  
25 cation. C'est la passerelle intermédiaire qui configure la couche logique de la connexion entre la passerelle intermédiaire et la passerelle mobile à chaque nouvelle liaison sans fil. L'aspect temporel du passage d'une cellule à une autre de la même infrastructure n'est pas une contrainte dans cette architecture, dont les performances sont réduites.

Par ailleurs, les moyens de communication radio équipant une station de  
30 base n'ont qu'une portée réduite couvrant une zone géographique élémentaire ou cellule. Ainsi, en tant que juxtaposition de stations de base, une infrastructure ne peut établir de liaison avec un équipement mobile que dans une zone de couverture bien délimitée correspondant aux différentes cellules.

De plus, il est possible que, dans la zone de couverture d'une infrastructure, il existe une zone d'ombre où la propagation des ondes électromagnétiques est perturbée ou bloquée par la présence d'obstacles entre la station de base et le véhicule. C'est par exemple le cas lorsqu'un train passe sous un tunnel et que la liaison avec les stations de base d'une infrastructure GSM est coupée.

Pour palier l'existence de zones d'ombres ou bien la taille réduite de la zone de couverture, plusieurs infrastructures au sol sont déployées pour recouvrir l'ensemble de la zone à l'intérieure de laquelle le véhicule est sensé devoir se déplacer. Par exemple, un équipement mobile qui utilisait une première infrastructure GSM dans un premier pays, se connecte à une seconde infrastructure GSM disponible dans un second pays lors du passage de la frontière entre ces deux pays.

Dans ce document, on dira que deux infrastructures de communication sont de technologies différentes lorsqu'elles mettent en œuvre des protocoles de communication différents pour la liaison sans fil (Wifi versus Wimax ou Wifi versus GSM, par exemple).

L'invention a donc pour but d'améliorer les performances de transfert intercellulaire au sein d'une infrastructure de communication, tout en autorisant également un transfert intercellulaire entre cellules d'infrastructures différentes, pour assurer la continuité d'une communication entre un équipement fixe au sol et un équipement mobile embarqué, lors du basculement entre deux cellules différentes.

L'invention a pour objet une architecture de communication IP entre un premier équipement informatique fixe, au sol, connecté à un premier réseau local, et un second équipement informatique mobile, embarqué à bord d'un véhicule d'une pluralité de véhicules, chaque véhicule de la pluralité de véhicules comportant un second réseau local, le second équipement étant connecté au second réseau local du véhicule à bord duquel il est embarqué. Cette architecture comporte :

- un réseau global arborescent ayant :

o un routeur principal connecté au premier réseau local ;

o des nœuds de plus bas niveau, constitués par une pluralité de routeurs mobiles, chaque véhicule de la pluralité de véhicules comportant, connecté à son second réseau local, l'un des routeurs mobiles de la pluralité de routeurs mobiles ; et,

o des nœuds intermédiaires, parmi lesquels les nœuds intermédiaires situés juste au-dessus des nœuds de plus bas niveau sont constitués par des routeurs de base au sol ; et,

- au moins une infrastructure de communication, chaque routeur de base étant  
5 relié à une infrastructure de communication et ayant une adresse IP sur l'infrastructure de communication à laquelle il est ainsi associé, l'infrastructure comportant des stations de base équipées de moyens de communication radio, chaque routeur mobile comportant :

- un moyen de communication radio adapté pour établir, à un instant donné,  
10 une liaison sans fil avec l'une des stations de base de l'infrastructure de communication,

- des moyens de mémorisation comportant une liste de routeurs de base comportant les adresses IP des routeurs de base avec les infrastructures de communication associées desquels il est susceptible d'établir une liaison sans fil, et

- des moyens de connexion pour initier une connexion avec un routeur de base à partir de la liste de routeurs de base, après qu'une liaison sans fil a été établie.

Suivant des modes particuliers de réalisation, l'architecture de communication IP comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniques possibles :

- les routeurs principal, de base et mobiles comportent, respectivement, une table de routage et des moyens de mise à jour dynamique des tables de routage, chaque routeur de base comportant un moyen d'émission d'un message d'état de connexion indiquant au routeur principal les routeurs mobiles venant de se connecter ou de se déconnecter dudit routeur de base.

- les moyens de connexion d'un routeur mobile comportent un moyen de prédétection de perte de la connexion active et des moyens de stockage temporaire des données à transmettre lorsque la qualité de la connexion est réduite.

- un routeur de base comporte des moyens de mémorisation comportant une liste de nouveaux routeurs de base, et un routeur mobile comporte des moyens de mise à jour de sa liste de routeurs de base à partir de la liste de nouveaux routeurs de base du routeur de base auquel il se connecte.

- les routeurs de base sont connectés à l'infrastructure de communication à laquelle ils sont associés de manière à ce que la distance entre un routeur de base et une station de base de l'infrastructure associée corresponde à une unique maille de réseau.

5 - l'infrastructure de communication met en oeuvre une technologies de communication sans fil de courte portée du type Wifi, wimax ou l'équivalent.

- l'architecture comporte au moins des première et seconde infrastructures de communication telles qu'une première cellule d'une première station de base de la première infrastructure se superpose, au moins partiellement, dans une  
10 région de recouvrement, à une seconde cellule d'une seconde station de base de la seconde infrastructure, et le routeur mobile est apte à établir, simultanément, lorsque le véhicule à bord duquel il est embarqué traverse la région de recouvrement, une première connexion avec un premier routeur de base par l'intermédiaire d'une première liaison sans fil établie avec une station de base de la première infrastructure et une seconde connexion avec un second routeur de base par  
15 l'intermédiaire d'une seconde liaison sans fil établie avec une station de base de la seconde infrastructure.

- les routeurs principal et mobile possèdent, respectivement, des moyens d'arbitrage permettant de sélectionner une route parmi une première  
20 route passant par la première infrastructure et une seconde route passant par la seconde infrastructure pour la communication en cours entre les premier et second équipements.

- les première et seconde infrastructures sont de type différent, mettant en œuvre des technologies différentes sélectionnées parmi les technologies  
25 Wifi, wimax, GSM, UMTS, satellitaire ou l'équivalent, et chaque routeur mobile comporte une pluralité de moyens de communication, chaque moyen de communication étant dédié à l'établissement d'une liaison sans fil avec une infrastructure d'un type particulier.

- le véhicule faisant partie d'une pluralité de véhicules et chaque véhicule  
30 comportant un unique second réseau local équipé d'un routeur mobile, une adresse IP du second équipement sur le réseau global est privée et est obtenue en concaténant un identifiant commun à la pluralité de véhicules, un identifiant du véhicule et un identifiant du second équipement sur le second réseau local du vé-

hicule à bord duquel est embarqué le second équipement, et les tables de routage des routeurs sol, tels que les routeurs principal et de base, stockent l'identifiant du véhicule à bord duquel est embarqué ledit second équipement, et les routeurs au sol comportent des moyens permettant d'extraire de l'adresse IP contenue dans l'en-tête d'un datagramme à router l'identifiant du véhicule à bord duquel est embarqué le second équipement auquel est adressé le datagramme.

- le routeur mobile et un routeur de base étant connectés par l'intermédiaire d'une infrastructure sous-jacente, et les adresses IP sur le réseau global étant privées, les routeurs mobile et de base comportent des moyens d'encapsulation et de « désencapsulation » des datagrammes qu'ils s'échangent pour qu'ils soient routés sur l'infrastructure de communication.

L'invention a également pour objet un procédé de communication IP asymétrique utilisant l'architecture présentée précédemment pour la communication entre un premier équipement informatique fixe, au sol, connecté à un premier réseau local, et un second équipement informatique mobile, embarqué à bord d'un véhicule d'une pluralité de véhicules, chaque véhicule de la pluralité de véhicules comportant un second réseau local équipé d'un routeur mobile, le second équipement étant connecté au second réseau local du véhicule à bord duquel il est embarqué. Ce procédé comporte les étapes, mises en œuvre par le routeur mobile embarqué à bord du véhicule, consistant à :

- a) établir une liaison sans fil entre une station de base d'une infrastructure de communication, la station de base étant équipée d'un moyen de communication radio, et le routeur mobile comportant un moyen de communication radio adapté ;
- b) après que la liaison sans fil est établie avec une infrastructure, tester différentes adresses IP de routeurs de base reliés à l'infrastructure, en attendant une réponse de l'un desdites routeurs de base ; et,
- c) connecter le routeur mobile au routeur de base ayant répondu.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le procédé comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniques possibles :

- après initialisation de la connexion avec le routeur de base, le procédé comporte les étapes consistant à :

d) mémoriser, dans une table de routage du routeur mobile, l'adresse IP, sur l'infrastructure de communication, du routeur de base auquel il vient de se connecter ; et,

5 e) mémoriser, dans une table de routage du routeur de base, l'adresse IP, sur l'infrastructure de communication, du routeur mobile venant de se connecter, ainsi qu'une référence associée à l'adresse IP, sur le réseau global, du routeur mobile ;

f) émettre, depuis le routeur de base vers un routeur principal connecté au premier réseau local, un message d'état de connexion contenant une référence associée à l'adresse IP, sur le réseau global, du routeur mobile ainsi que l'adresse  
10 IP sur le réseau global du routeur de base ; et,

g) mémoriser, dans une table de routage du routeur principal, l'adresse IP sur le réseau global du routeur de base qui a émis le message d'état de connexion et la référence associée à l'adresse IP sur le réseau global du routeur mobile.

- le routeur de base auquel un routeur mobile vient de se connecter  
15 transmet à ce routeur mobile d'autres adresses IP de routeurs de base pour la mise à jour de la liste de routeurs de base mémorisée par le routeur mobile.

- le routeur mobile met en œuvre un mécanisme de prédétection de perte de la connexion active, et en cas de rupture potentielle de la connexion, le routeur mobile stocke dans une file de données les datagrammes à transmettre,  
20 exécute à nouveau les étapes a) à c) pour établir une autre liaison sans fil et une autre connexion à un serveur de base, et, une fois qu'une nouvelle connexion est établie, transmet les datagrammes stockés sur la nouvelle connexion.

- alors que le routeur mobile est connecté à un premier routeur de base via une première liaison sans fil avec une première station de base d'une première infrastructure de communication, par une nouvelle itération des étapes a) à c), le routeur mobile établit une seconde liaison sans fil avec une seconde station de base d'une seconde infrastructure de communication et se connecte à un second routeur de base, et les routeurs principal et mobile arbitrent pour sélectionner une route parmi une première route passant par la première infrastructure  
25 et une seconde route passant par la seconde infrastructure pour la communication en cours entre les premier et second équipements.

- le véhicule faisant partie d'une pluralité de véhicules et chaque véhicule comportant un unique second réseau local équipé d'un routeur mobile,

l'adresse IP du second équipement sur le réseau global étant alors privée et obtenue en concaténant un identifiant de la pluralité de véhicules, un identifiant du véhicule et un identifiant du second équipement sur le second réseau local du véhicule, l'étape de mise à jour de la table de routage du routeur principal consiste à

5 stocker l'identifiant du véhicule en tant que référence associée à l'adresse IP du routeur mobile.

- pour la communication descendante du premier équipement vers le second équipement, le routage exécuté par le routeur principal comporte les étapes consistant à :

- 10 - intercepter un datagramme IP émis sur le premier réseau local, à destination du second équipement ;
- extraire l'identifiant du véhicule à bord duquel est embarqué le second équipement à partir de l'adresse IP de ce second équipement indiquée dans la partie d'en-tête du datagramme IP intercepté ;
- 15 - lire, dans la table de routage du routeur principal, les adresses IP des routeurs de base qui, à l'instant considéré, sont en connexion avec le routeur mobile du véhicule ;
- sélectionner un routeur de base parmi les routeurs de base lus ; et,
- router le datagramme IP intercepté vers le routeur de base sélectionné.

20 - pour la communication montante depuis le second équipement vers le premier équipement, le routage exécuté par le routeur mobile comporte les étapes consistant à :

- intercepter un datagramme IP émis sur le second réseau local par le second équipement à destination du premier équipement ;
- 25 - lire, dans la table de routage du routeur mobile, l'adresse IP du routeur de base actuellement connecté audit routeur mobile ; et,
- router le datagramme IP intercepté vers ledit routeur de base en utilisant la liaison sans fil de l'infrastructure associée au routeur de base.

- les adresses IP sur le réseau global étant des adresses privées,

30 l'étape de transmission d'un datagramme IP entre le routeur de base et le routeur mobile par l'intermédiaire de l'infrastructure de communication comporte les étapes consistant à :

- encapsuler un datagramme IP initial au niveau d'un premier routeur parmi le routeur mobile et le routeur de base ;
  - transmettre le datagramme encapsulé vers l'autre routeur à travers l'infrastructure de communication associée ;
- 5 - « désencapsuler » le datagramme IP reçu, au niveau de l'autre routeur, pour en extraire le datagramme IP initial.

L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant au dessin annexé, sur lequel la figure 1 est une représentation schématique de l'architecture selon l'invention.

L'architecture de communication est propre à établir et à maintenir une communication bidirectionnelle au format IP entre un premier équipement, fixe, au sol, et un second équipement mobile embarqué, à bord d'un véhicule quelconque appartenant à une flotte de véhicules.

15 Le premier équipement est un ordinateur 1 connecté à un premier réseau local 3 qui est un réseau privé appartenant à l'exploitant du train 2. Le second équipement, à bord du train 2, est un ordinateur de contrôle 4 relié à différents capteurs et à différents actionneurs. L'ordinateur 4 est connecté à un second réseau local 21 à bord du train 2.

## 20 RESEAU GLOBAL

La communication entre les ordinateurs 1 et 4 se fait au travers d'une architecture qui, à un niveau supérieur, constitue un réseau global en forme d'arbre dont le noeud racine est un routeur principal 5, connecté au premier réseau 3, et les noeuds de plus bas niveau sont des routeurs mobiles embarqués à bord des trains. Chaque train de la flotte comporte un routeur mobile connecté au second réseau du train considéré. Entre le noeud racine et le noeud de plus bas niveau, le réseau global comporte différents noeuds intermédiaires. En particulier, les noeuds intermédiaires situés juste au-dessus des noeuds de plus bas niveau seront dénommés routeurs de base dans ce qui suit. Les routeurs de base 11a-c, 17 et 18 sont fixes au sol.

La connexion entre un routeur de base, au sol, et un routeur mobile, embarqué, s'effectue par l'intermédiaire d'une liaison sans fil d'une manière qui sera décrite ci-après. Au cours du temps et du déplacement du train, le routeur mobile

est apte à se déconnecter d'un premier routeur de base et à se connecter à un second routeur de base. Ainsi, la topologie du réseau globale évolue au cours du temps, en fonction des connexions effectives, à un instant donné, entre les nœuds de plus bas niveau et les nœuds du niveau juste supérieur.

5 Un routeur participe à l'acheminement d'un datagramme IP le long d'un chemin de routage particulier du réseau global. Il comporte des moyens de mémorisation, du type mémoire vive, dans lesquels est stockée une table de routage et une file de données permettant le stockage temporaire de datagrammes IP. Un routeur comporte des moyens de mise à jour de sa table de routage. La structure  
10 des tables de routage de chaque type de routeur sera décrite en détail ci-dessous.

### RESEAU SOUS-JACENT ET INFRASTRUCTURE

A un niveau inférieure de l'architecture, la communication entre deux nœuds quelconques du réseau global peut se faire à travers un réseau sous-jacent. Par exemple, sur la figure 1, la communication entre le routeur principal 5  
15 et les routeurs de base 17 et 18 se fait au travers d'un réseau sous-jacent 6.

La communication entre un routeur de base et un routeur mobile utilise une liaison sans fil qui est établie entre le routeur mobile 22 et une station de base d'une infrastructure de communication à laquelle est relié au moins un routeur de base. Un routeur de base associé à une infrastructure possède une adresse IP  
20 publique, fixe, sur cette infrastructure associée.

Chaque infrastructure comporte une ou plusieurs stations de base équipées de moyens de communication radio et aptes à établir une liaison sans fil dans une cellule. Lors de l'établissement d'une liaison sans fil, le routeur mobile reçoit une  
adresse IP publique sur l'infrastructure considérée.

25 Sur la figure 1, on a représenté des infrastructures de technologies différentes : une première infrastructure 7 autorisant l'établissement de liaisons sans fil de longue portée, une deuxième infrastructure 8 autorisant l'établissement de liaisons sans fil de moyenne portée, et une troisième infrastructure 9 autorisant l'établissement de des liaisons sans fil de courte portée.

30 La première infrastructure 7 est du type satellitaire. Une station relais 7a communique avec un satellite 7b agissant en tant que « station de base ». Les moyens de communication 7c du satellite 7b couvrent une « cellule » étendue.

Dans la seconde infrastructure 8, par exemple du type UMTS ou GSM, les stations de base 8a, 8b, équipées respectivement d'antennes 8c, 8d, couvrent des cellules associées 8e, 8f dont le rayon varie d'une centaine de mètres à quelques kilomètres.

5 La troisième infrastructure 9 comporte un réseau d'agrégation 10 et des stations de base 12a, 12b et 12c. Chaque station de base 12a, 12b ou 12c est équipée de moyens de communication radio, fonctionnant en émission et en réception, et apte à établir une liaison sans fil au format Wifi. En variante, des types de liaison de courte portée équivalents, telle qu'une liaison Wimax, sont envisageables. Chaque station de base 12a, 12b, 12c couvre une cellule 13a, 13b, 13c. Une liaison Wifi a une portée maximale de 300 m, réduite à moins de 100 m si un obstacle est présent sur le trajet des ondes radio. La réunion des cellules 13a, 13b, 13c forme une zone géographique de couverture continue le long de la voie 20.

15 Le routeur mobile 22 est équipé de moyens de communication 27, 28 et 29. Chaque moyen de communication 27, 28, 29 est spécifique à l'établissement d'une liaison sans fil avec les stations de base d'une infrastructure donnée parmi les infrastructures 7, 8 et 9. Ainsi, les moyens 27 permettent l'établissement d'une liaison du type satellitaire avec le satellite 7a de l'infrastructure 7. Les moyens 28 permettent l'établissement d'une liaison du type GSM avec l'une des stations de base 8a, 8b de l'infrastructure 8. Et, les moyens 29 permettent l'établissement d'une liaison du type Wifi avec l'une des stations de base 12a, 12b, 12c de l'infrastructure 9. Ces moyens sont indépendants entre eux de manière à permettre l'existence simultanée de liaisons sans fil avec des infrastructures différentes ou de technologie différentes. 25

Sur la figure 1, deux variantes de réalisation ont été représentées. En effet, une infrastructure de communication peut être soit une infrastructure propriétaire gérée par l'exploitant de la flotte de trains, soit une infrastructure gérée par un tiers. Par exemple, une infrastructure du type Wifi est typiquement du type propriétaire car son déploiement et son exploitation sont d'un coût réduit. En revanche, une infrastructure GSM ou satellitaire est une infrastructure exploitée par des tiers. 30

Dans le cas d'une infrastructure appartenant à un tiers, la gestion de la liaison sans fil n'est pas accessible à l'exploitant. Alors, l'architecture selon l'invention prévoit de disposer un routeur de base en amont de l'infrastructure considérée. Par exemple sur la figure 1, un routeur de base 18 est connecté entre, d'une part, le routeur principal 5 et le réseau intermédiaire 6, et, d'autre part, l'infrastructure 8. De même, un routeur de base 17 est connecté entre, d'une part, le routeur principal 5 et le réseau intermédiaire 6, et, d'autre part, l'infrastructure 7.

Par contre, dans le cas d'une infrastructure propriétaire, le propriétaire peut avantageusement placer plusieurs routeurs de base à l'intérieur de l'infrastructure, au plus près des stations de base. Par exemple, dans l'infrastructure 9, des routeurs de base 11a, 11b et 11c sont respectivement disposés entre une station de base associée 12a, 12b et 12c et le réseau d'agrégation 10. En variante, plusieurs stations de base sont associées au même routeur de base. Au sein de l'infrastructure 9, les stations de base 12a, 12b, 12c sont ainsi directement connectées à un routeur de base 11a, 11b, 11c de sorte qu'une seule maille sépare les routeurs de base des stations de base dans l'infrastructure 9.

La communication entre le routeur principal 5 et les différents routeurs de base 11a-c s'effectue à travers le réseau sous-jacent que forme le réseau d'agrégation 10 de l'infrastructure 9.

L'infrastructure 9 peut être une infrastructure propriétaire privée ou publique. Le principe de fonctionnement reste le même. La différence réside dans l'adressage des routeurs de base : dans le cas d'une infrastructure privée, les routeurs de base sont connectés à un réseau privé ; dans le cas d'une infrastructure publique, ils sont connectés à un Intranet, privé, appartenant au propriétaire, qui est accessible via l'Internet, publique, au moyen d'un mécanisme d'encapsulation (VPN en anglais, pour « Virtual Private Network »). Cela reste une adresse IP de routeur de base accessible au routeur mobile 22.

#### FORMAT DES ADRESSES IP PRIVEES

Au niveau du réseau global, l'architecture utilise, pour les adresses IP des seconds équipements embarqués, des adresses IP privées dont le format va maintenant être décrit. Chaque second équipement est identifié par une adresse IP, codée sur 32 bits, qui lui est propre. On notera que selon la norme IPv4 ac-

tuellement en vigueur, les adresses IP sont codées sur 32 bits. Elles seront codées sur 64 bits dans la version à venir IPv6.

5 L'exploitant d'une ligne de chemin de fer doit suivre, en temps réel, plusieurs trains qui forment ensemble une flotte de trains. Cette flotte est caractérisée par un identifiant «Flotte ID» unique, codée sur X bits.

10 Un train particulier de cette flotte est repéré, au sein de la flotte, par un identifiant «véhicule ID» unique, codé sur Y bits. Ainsi le train 2 est identifié par l'identifiant ID2. Selon l'invention, chaque train ne comporte qu'un unique second réseau local équipé d'un unique routeur mobile. Ainsi, le train 2 comporte un unique second réseau local 21 relié à un unique routeur mobile 22. Alors, l'identifiant d'un véhicule «véhicule ID» caractérise également le routeur mobile embarqué dans ce véhicule.

15 Un second équipement informatique embarqué est référencé par un identifiant «équipement ID» unique, codé sur [32-X-Y] bits. L'ordinateur 4 est identifié par le numéro ID4 sur le second réseau local 21 du train 2 sur lequel il est connecté.

Selon l'invention, l'adresse IP d'un second équipement embarqué est définie, de façon unique, par la concaténation des identifiants de flotte, de véhicule et d'équipement selon l'expression : IP équipement = «flotte ID» «véhicule ID» «équipement ID».

20 Ainsi l'ordinateur 4 a pour adresse IP : IP4 = «flotte ID».ID2.ID4.

Par convention, l'adresse IP du routeur mobile 22 du réseau local 21 est «flotte ID».ID2.<0...1>. Le masque de sous réseau du réseau local 21 est «flotte ID».ID2.<0...0>.

25 On constate alors que les seconds réseaux embarqués à bord des véhicules de la flotte constituent, ensemble, un seul et unique segment du réseau global et qu'un second réseau particulier constitue un sous-segment de ce segment. Le segment « flotte » est ainsi constitué de sous-segments « trains » éparpillés.

30 Cette méthode d'adressage à plat mise en œuvre au niveau du réseau global présente de nombreux avantages. Il n'y a tout d'abord pas de conflit d'adressage au sein du réseau global et ceci quels que soient les trains effectivement en circulation à un instant donné. De plus, lors de l'attelage de deux trains, il n'y a pas besoin d'installer un ordinateur passerelle entre chacun des deux se-

conds réseaux locaux, et les équipements à bord du second train sont “visibles” sans avoir à reconfigurer le réseau global.

De plus, en exécutant un algorithme de décodage des adresses IP privées écrites selon ce format, chaque routeur peut avantageusement ne tenir à jour qu’une table de routage simplifiée comportant l’identifiant du véhicule <véhicule ID> comme cela sera décrit ci-dessous.

### ROUTAGE

En utilisant une telle méthode d’adressage IP, l’architecture de communication peut réutiliser les structures de routage existantes des réseaux sous-jacents. Mais, les datagrammes initiaux, dont l’en-tête comporte l’adresse IP privée d’un ordinateur destinataire, ne peuvent être routés par les routeurs d’un réseau sous-jacent qui ne reconnaissent pas ces adresses IP privées. Dans ce cas, la communication entre deux nœuds du réseau global s’effectue en encapsulant un datagramme initial dans un datagramme intermédiaire apte à être routé par le réseau sous-jacent reliant les deux nœuds considérés. Le datagramme initial apparaît alors comme la charge utile du datagramme intermédiaire. L’en-tête du datagramme intermédiaire comporte l’adresse IP du nœud du réseau global destinataire, adresse IP publique sur le réseau sous-jacent. Un mécanisme de « tunnel » ( « tunneling » en anglais) est en fait mis en œuvre.

Pour le routage au niveau du réseau global, les différents routeurs possèdent chacun une table de routage mettant en correspondance l’adresse IP privée du destinataire d’un datagramme initial et l’adresse IP du routeur suivant sur le chemin de routage par lequel faire transiter ce datagramme initial. Le réseau global évoluant au cours du temps, ces tables doivent être tenues à jour de manière dynamique à chaque connexion ou déconnexion d’un routeur mobile. On notera que la description qui va suivre des tables de routage est faite dans le cas simple du réseau global à trois niveaux représenté sur la figure 1.

Plus précisément, en tenant compte du format des adresses IP des ordinateurs embarqués, une table de routage « consolidée », mémorisée et maintenue à jour par le routeur principal 5, met en correspondance, pour chaque infrastructure 7, 8 ou 9, l’identifiant <véhicule ID> d’un train et l’adresse IP du routeur de base auquel le routeur mobile de ce train est actuellement connecté. Par exemple, dans la table de routage « consolidée », l’identifiant ID2 du train 2 est en correspon-

dance, pour l'infrastructure Wifi 9, avec l'adresse IP11b publique sur le réseau 10 du routeur de base 11b avec lequel le routeur mobile 22 du train 2 est actuellement en connexion par l'intermédiaire de la liaison 14b.

5 Une table de routage de « base », mémorisée et maintenue à jour par chaque routeur de base, comporte la liste des identifiants <véhicule ID> des véhicules connectés, à l'instant considéré, à ce routeur de base ainsi que l'adresse IP du routeur mobile sur l'infrastructure associée. Par exemple, la table de routage « de base » du routeur de base 11b comporte l'identifiant ID2 du train 2 actuellement  
10 connecté par l'intermédiaire de la liaison 14b et l'adresse IP 22 du routeur mobile 22 sur l'infrastructure 9. Par ailleurs, le routeur de base connaît l'adresse IP fixe du nœud situé immédiatement au-dessus de lui dans le réseau global, en l'occurrence le routeur principal 5 dans l'architecture à trois niveaux représentée sur la figure 1 .

15 Enfin, la table de routage « mobile », mémorisée et maintenue à jour par le routeur mobile, comporte, pour chaque infrastructure auquel il est actuellement relié, l'adresse IP publique d'un routeur de base de cette infrastructure avec lequel il est connecté. Par exemple, la table de routage « mobile » du routeur mobile 22 comporte, pour l'infrastructure 9, l'adresse IP11b du routeur de base 11b auquel il est actuellement connecté en utilisant la liaison 14b.

20 Le fonctionnement de l'architecture de communication va maintenant être décrit en détail. Après le fonctionnement lorsque le train reste à l'intérieur de la zone de couverture d'une unique infrastructure, par exemple l'infrastructure 9, on décrira le fonctionnement permettant d'assurer la continuité de la communication lors du basculement entre deux infrastructures différentes.

#### 25 ETABLISSEMENT D'UNE LIAISON ET CONNEXION AU ROUTEUR

Au cours du déplacement du train 2 le long de la voie 20, les moyens de communication 29 contrôlés par le routeur mobile 22 émettent, à intervalles réguliers, des signaux radio de connexion, ou balises, destinés à découvrir d'éventuelles stations de base de l'infrastructure 9 pour établir une liaison sans fil.  
30 D'une manière générale, soit la couche physique de la liaison existe déjà et le routeur mobile 22 configure la couche logique de la liaison, c'est par exemple le cas d'une liaison du type Wifi ; soit la couche physique n'existe pas encore et au cours de la phase d'établissement de la liaison le routeur mobile 22 doit d'abord initiali-

ser la couche physique, puis configurer la couche logique, c'est par exemple le cas d'une liaison du type GPRS.

Lorsque le train 2 entre dans la cellule 13b associée à la station de base 12b, celle-ci détecte les balises émises. Une procédure de configuration de la couche logique de la liaison sans fil 14b, de type Wifi, est alors exécutée entre la station de base 12b, agissant en tant qu'ordinateur « maître », et le routeur mobile 22, agissant en tant qu'ordinateur « esclave ». Le routeur mobile 22 reçoit une adresse IP publique sur l'infrastructure 9.

Une fois la liaison sans fil 14b établie entre la station de base 12b et le routeur mobile 22, ce dernier se connecte à un routeur de base associé à l'infrastructure 9.

Le routeur mobile 22 comporte, stockée dans ses moyens de mémorisation, une liste de routeurs de base comportant les adresses IP des routeurs de base auxquels il est susceptible de se connecter lors du déplacement du train 2 le long de la voie 20. Ainsi, le routeur mobile 22 essaie de se connecter à un routeur de base en testant les différentes adresses IP qu'indiquent cette liste de routeurs de base.

Dans le cas d'une infrastructure non propriétaire 8 ou 7, le routeur mobile connaît l'adresse IP du routeur de base 18 ou 17 associé à cette infrastructure. La connexion entre le routeur mobile 22 et le routeur de base correspondant se fait alors simplement. En variante, on pourrait se passer des routeurs de base dans le cas d'une infrastructure non-propriétaire, et un routeur mobile utilisant une telle infrastructure se connecterait directement au routeur principal.

La connexion est établie lorsque le routeur de base répond. De manière plus détaillée, la connexion établie entre le routeur mobile 22 et le routeur de base 11b est constituée de deux paires de canaux logiques : une paire de canaux constituée d'un canal de communication et d'un canal de contrôle pour la communication montante ; et une paire de canaux constituée d'un canal de communication et d'un canal de contrôle pour la communication descendante. Les canaux de contrôle transmettent, entre autre, des messages périodiques de maintien de la connexion (messages du type « keep alive » en anglais).

Une fois connecté à un routeur de base, par exemple le routeur de base 11b, l'adresse IP publique de ce dernier est mémorisée dans la table de routage

mobile, ainsi qu'un identifiant de l'infrastructure 9, i.e. du moyen de communication utilisé pour établir la liaison sans fil 14b.

Après établissement de la connexion, le routeur mobile 22 apparaît, sur le réseau global de l'architecture de communication, comme un nœud de plus bas niveau connecté au routeur de base 11b.

On notera qu'initialement, la liste de routeurs mémorisée par le routeur mobile 22 comporte les adresses IP des routeurs de base situés aux extrémités de départ et d'arrivée de la voie 20. Après connexion à un routeur de base, le routeur mobile 22 reçoit de celui-ci une série de nouvelles adresses IP de routeurs de base voisins pour mettre à jour la liste de routeurs de base mémorisée par le routeur mobile. Cette liste mise à jour sera utilisée pour établir une autre connexion à un autre routeur de base en prévision de la rupture de la connexion en cours.

Lors de l'établissement d'une connexion, le routeur de base 11b met à jour dynamiquement sa table de routage « de base » en mémorisant l'adresse IP publique du routeur mobile 22, en l'associant à l'identifiant ID2 du train 2 à bord duquel est embarqué ledit routeur mobile 22, en décomposant l'adresse IP privée du routeur mobile.

Au moment de la connexion du routeur mobile 22, le routeur de base 11b émet un message d'état de connexion en direction du routeur principal 5. Ce message indique l'IP du routeur de base émetteur, l'identifiant du train ID2 nouvellement connecté et un identifiant de l'infrastructure sous-jacente de cette connexion. Lors de la réception de ce message, le routeur principal 5 exécute un algorithme de mise à jour de sa table de routage « consolidée » consistant à mémoriser, dans une nouvelle rangée correspondant à l'identifiant ID2 du train 2 et, pour la colonne correspondant à l'infrastructure 9, l'adresse IP11b du routeur de base 11b.

Dès que l'interruption de l'échange de messages périodiques indique aux routeurs mobile et de base la déconnexion, les différentes tables de routage sont mises à jour en conséquence.

### COMMUNICATION

En communication descendante, c'est-à-dire depuis l'ordinateur 1 vers l'ordinateur 4, l'ordinateur 1 au sol émet un datagramme initial à destination de l'ordinateur 4 embarqué, dont l'entête (« Header » en anglais) comporte l'adresse IP4 privée de l'ordinateur 4 destinataire.

Ce datagramme initial est intercepté par le routeur principal 5. Celui-ci lit l'en-tête à la recherche de l'adresse IP4 de l'ordinateur 4. L'algorithme de décodage d'adresse IP extrait, de l'adresse IP4, l'identifiant ID2 du train 2 à bord duquel se trouve l'ordinateur 4. Par une requête dans la table de routage « consolidée », le routeur principal 5 extrait l'adresse IP11b publique du routeur de base 11b associé à l'identifiant ID2 et encapsule le datagramme initial dans un premier datagramme intermédiaire dont l'en-tête contient notamment l'adresse IP11b du routeur de base 11b sur le réseau 10. Le premier datagramme intermédiaire est ensuite routé, sur le réseau 10, vers le routeur de base 11b.

Le premier datagramme intermédiaire est lu par le routeur de base 11b qui le « désencapsule » et lit l'adresse IP4 contenue dans le datagramme initial. Le routeur de base 11b extrait de l'adresse IP4 l'identifiant ID2 du train 2. Par une requête sur la table de routage « de base », le routeur de base 11b s'assure simplement que le routeur mobile 22 correspondant est encore connecté. Le routeur de base 11b encapsule alors le datagramme initial dans un second datagramme intermédiaire dont l'en-tête comporte l'adresse IP publique du routeur mobile 22 et le transmet vers le routeur mobile 22, le long du canal de données descendant de la connexion, en utilisant entre autre la liaison sans fil 14b.

Le routeur mobile 22 « désencapsule » le second datagramme intermédiaire, et identifie l'ordinateur 4 destinataire sur la base de l'adresse IP4 présente dans l'en-tête du datagramme initial. Celui-ci est finalement transmis sur le réseau local 21 pour être reçu par l'ordinateur 4.

En communication montante, c'est-à-dire depuis l'ordinateur 4 vers l'ordinateur 1, le mécanisme est plus simple. En effet, l'architecture du système constitue une arborescence. Alors qu'en communication descendante, il est nécessaire de déterminer les routes, en communication montante, la route est unique car l'ensemble du trafic montant converge vers le routeur principal 5 avant d'être retransmis sur le premier réseau 3. La table de routage « consolidée » n'est donc pas utilisée en communication montante. Seule l'adresse IP du nœud de l'arborescence immédiatement au-dessus doit être connue du nœud devant router un datagramme. En cela, la communication est asymétrique. Si la communication entre deux nœuds du réseau global passe par l'intermédiaire d'un réseau sous-jacent, un mécanisme d'encapsulation est mis en œuvre.

### ROAMING HORIZONTAL

Une fois établie, la liaison 14b ne dure que le temps de passage du train 2 dans la cellule 13b. Les moyens de communication du routeur mobile 22 comportent un moyen de prédétection de perte de lien qui détecte la rupture potentielle de la première connexion en scrutant l'un des deux canaux de contrôle de la connexion active.

Lors de la détection de la rupture potentielle de la connexion active, les données à transmettre en communication montante sont stockées dans une file de données du routeur mobile. Puisque la liaison 14b n'est que temporaire, pour que la communication entre l'équipement au sol et l'équipement embarqué soit continue, les moyens de communication 29 du routeur mobile 22 continuent à émettre des balises pour initier une autre liaison avec l'une des stations de base 12a, 12c des cellules 13a, 13c contiguës à la cellule 13b. Après établissement de cette autre liaison sans fil, le statut de la première liaison sans fil est vérifié pour savoir s'il y eu rupture de la liaison. Dans la négative, les données stockées dans la file sont transmises en utilisant la première connexion. Dans l'affirmative, le processus se poursuit avec l'établissement d'une nouvelle connexion avec un routeur de base comme cela a été décrit plus haut. En particulier, l'établissement d'une seconde connexion conduit à la mise à jour les tables de routage. Un pointeur sur la file de données de transmission montante est repositionné sur le dernier datagramme correctement transmis et les données correspondantes de la file de données sont alors transmises en utilisant la seconde connexion. La communication montante entre l'équipement embarqué et l'équipement au sol peut alors se poursuivre. Il est possible que certains datagrammes considérés comme perdus aient été en fait correctement transmis. Il y aura donc des doublons au niveau du routeur principal 5 que celui-ci filtrera avant de les émettre sur le premier réseau local 3.

Lors de la rupture de la première connexion et de l'établissement de la seconde connexion, le routeur principal 5 en a été notifié. La table de routage « consolidée » a été mise à jour de sorte qu'elle comporte, sur la ligne de l'identifiant ID2 du train 2, l'adresse IP non plus du premier routeur de base dans la colonne de l'infrastructure 9, mais l'adresse IP du deuxième routeur de base.

Le routeur principal 5 route, à un instant donné, les datagrammes IP interceptés sur le premier réseau local 3 vers l'un des routeurs de base connectés au

routeur mobile 22, en se fondant sur les données présentes dans la table de routage « consolidée ». Puisqu'il s'agit d'un routage au niveau de l'ordinateur 5, le basculement est suffisamment rapide pour que cette opération soit totalement transparente.

5           En ce qui concerne l'intervalle de temps qui précède la rupture de la première connexion et l'établissement de la seconde connexion, le format de communication IP comporte des procédures de vérification d'erreurs de transmission et de réémission d'une requête par un ordinateur lorsque l'ordinateur destinataire n'a pas répondu. Ces procédures sont mises en œuvre par le routeur principal 5  
10 en communication descendante. Le routeur principal 5 comporte un tampon mémorisant systématiquement les derniers datagrammes routés en communication descendante pour lisser les éventuelles irrégularités et prévenir la perte de données.

          Ainsi, les paquets transmis vers le premier routeur de base juste avant la  
15 rupture de la première connexion et dont on ne sait pas s'ils sont parvenus au routeur mobile 22, sont réémis vers le second routeur de base pour poursuivre la communication descendante en cours sans interruption.

          La communication en cours peut ainsi basculer rapidement, de l'ordre de 50 ms, de la première connexion vers la seconde connexion.

## 20           ROAMING VERTICAL

          Les couvertures respectives de chaque infrastructure sont telles qu'elles forment une couverture continue, les zones d'ombre d'une infrastructure étant couvertes par les zones de couverture de ou des autres infrastructures. Ainsi, à un instant donnée, le routeur mobile 22 est en liaison avec au moins une infrastructure  
25 7, 8 ou 9. Alors, dans la table de routage « consolidée », une case de la rangée correspondant à l'identifiant ID2 du train 2 comporte une adresse IP.

          Eventuellement, là où les zones de couverture de plusieurs stations de base d'infrastructures différentes se recouvrent, le routeur mobile 22 établit simultanément plusieurs liaisons. Ceci est rendu possible car le routeur mobile 22  
30 comporte plusieurs moyens de communication 27-29 qui sont respectivement dédiés à l'établissement d'une liaison sans fil d'une technologie particulière et/ou d'une liaison avec une infrastructure particulière.

Ainsi, alors que le routeur mobile 22 a déjà établi une première liaison avec une première infrastructure sur laquelle transite la communication entre les ordinateurs 1 et 4, lorsque le train 2 se déplace dans une zone de recouvrement qui correspond à la superposition, au moins partielle, des cellules de deux stations de base appartenant à des infrastructures différentes, le routeur mobile établit une  
5 seconde liaison avec la seconde infrastructure alors que le train 2 traverse la zone de recouvrement entre ces deux infrastructures. Lors de l'établissement de chacune de ces liaisons et donc des connexions correspondantes avec les routeurs de base, le routeur principal 5 a été notifié en conséquence. La table de routage  
10 « consolidée » a donc été mise à jour de sorte qu'elle comporte, au moment où le train 2 se trouve dans cette région de recouvrement, sur la ligne de l'identifiant ID2 du train 2, l'adresse IP du premier routeur de base associé à la première infrastructure, dans la colonne de la première infrastructure, et l'adresse IP du deuxième routeur de base associé à la seconde infrastructure, dans la colonne de  
15 la seconde infrastructure.

Lorsque plusieurs infrastructures réseau 7, 8 ou 9 offrent simultanément la possibilité de communiquer avec le train 2, le routeur principal 5 et le routeur mobile 22 arbitrent en sélectionnant l'infrastructure 7, 8 ou 9 la plus adaptée. Cette sélection s'effectue selon plusieurs règles qui sont configurables par l'exploitant.  
20 Par exemple, une règle de priorité « propriétaire » permet de choisir une infrastructure Wifi propriétaire par rapport à une autre infrastructure Wifi qui appartiendrait à un tiers ; une règle de priorité « bande passante » permet de choisir parmi les infrastructures disponibles celle qui assure une communication haut débit ; une règle de priorité « coût » permet de choisir l'infrastructure pour laquelle le prix des  
25 communications est le plus bas ; etc.

Le routeur mobile et le routeur principal mettent en œuvre un mécanisme de mise en mémoire tampon des données à router au moment du basculement de la communication en cours de la première infrastructure vers la seconde infrastructure, similaire à ce qui a été décrit en détail lors du « roaming horizontal ».

### 30 SECURITE

Dans la partie basse de l'architecture, la liaison sans fil entre la station de base et le routeur mobile est considérée comme n'étant pas fiable. Comme indiqué ci-dessus, il existe deux canaux de communications de contrôle qui transmet-

tent respectivement des informations d'authentification, d'échange de clés de session, ainsi que des messages périodiques de maintien du lien sans fil (messages du type « keep alive » en anglais). Les messages périodiques transportent également une information d'état d'une file de données qui permet une éventuelle retransmission des données en cas de rupture temporaire, ayant une durée courte, inférieure à 4 secondes. Au-delà de cette durée, la file de données est vidée et les tables de routage sont mises à jour en indiquant que la connexion n'est plus active. Il est possible de configurer l'architecture pour ne pas retransmettre certains types de données. Dans le cas par exemple d'un « streaming » vidéo il n'est pas souhaitable de retransmettre les datagrammes perdus.

Par ailleurs, il est nécessaire de sécuriser la communication entre le routeur mobile 22 et le routeur de base correspondant 11a-c, 17 ou 18. Ceci est rendu d'autant plus nécessaire que l'on fait transiter des données sensibles relatives à des informations d'exploitation du train 2. En particulier, des liaisons sous-jacentes Wifi et Wimax sont considérées comme non sécurisées, car, pour pouvoir assurer une itinérance horizontale performante, il est nécessaire de désactiver les couches de sécurité de ces protocoles, les algorithmes d'authentification couramment utilisés tels que WEP, AES et Radius, étant lents et ne permettant pas un basculement au niveau d'une transition entre cellules de l'ordre de 50 ms.

Selon l'invention, la sécurisation de la connexion entre le routeur de base et le routeur mobile s'effectue en une première étape d'authentification suivie d'une seconde étape de cryptage :

L'étape d'authentification a pour rôle de s'assurer de l'identité mutuelle des nœuds, routeur de base 11a-c, 17 ou 18 et routeur mobile 22, qui communiquent via la liaison radio 14b non sécurisée. L'étape d'authentification selon l'invention utilise la méthodologie de cryptographie asymétrique, méthodologie connue de l'homme du métier fondée sur l'existence de clés privées et publiques codées sur une longueur de 512 bits. La clé privée est conservée secrète dans le routeur mobile 22 qui l'a générée. L'authentification est un processus qui consomme du temps. Pour minimiser ce temps lors de la transition entre cellules, l'architecture selon l'invention utilise un mécanisme de pré-authentification, initié en début de session, avec une clé de cryptage dite "système". Cette clé système n'est pas une clé de session car elle est codée dans le système.

Le trafic de données est toujours crypté entre le train et l'infrastructure au sol. Il existe deux moyens de cryptage qui peuvent être mis en oeuvre dans l'étape de cryptage. Ils sont respectivement fondés sur la clé de session et la clé système. Lorsque l'étape d'authentification du train 2 est achevée, la clé de session est créée, et la clé système est remplacée par la clé de session. Les clés de cryptage ont des longueurs variant de 64 bits à 512 bits par incrément de 64 bits.

Chaque véhicule de la flotte définit un sous-segment mobile du réseau. Ces segments mobiles disjoints forment un segment éparpillé. Avec l'architecture précédemment décrite, l'exploitant peut suivre simultanément plusieurs trains. En particulier le routeur principal 5 assure le routage IP entre le premier réseau local fixe et les routeurs des sous-segments mobiles, quelle que soit l'infrastructure intermédiaire sous-jacente.

## REVENDICATIONS

1.- Architecture pour la communication IP entre un premier équipement informatique (1) fixe, au sol, connecté à un premier réseau local (3), et un second équipement informatique (4) mobile, embarqué à bord d'un véhicule d'une pluralité de véhicules, chaque véhicule de la pluralité de véhicules comportant un second réseau local, ledit second équipement étant connecté au second réseau local du véhicule à bord duquel il est embarqué, caractérisée en ce qu'elle comporte :

un réseau global arborescent ayant :

- o un routeur principal (5) connecté audit premier réseau local ;
- o des nœuds de plus bas niveau, constitués par une pluralité de routeurs mobiles (22), chaque véhicule de la pluralité de véhicules comportant, connecté à son second réseau local (21), l'un des routeurs mobiles de ladite pluralité de routeurs mobiles ; et,
- o des nœuds intermédiaires, parmi lesquels les nœuds intermédiaires situés juste au-dessus des nœuds de plus bas niveau sont constitués par des routeurs de base (17, 18, 11a-c) au sol ; et,

au moins une infrastructure de communication (7, 8, 9), chaque routeur de base étant relié à une infrastructure de communication et ayant une adresse IP sur l'infrastructure de communication à laquelle il est ainsi associé, ladite au moins une infrastructure comportant des stations de base (7b, 8a-b, 12a-c) équipées de moyens de communication radio,

chaque routeur mobile comportant :

- un moyen de communication radio (27, 28, 29) adapté pour établir, à un instant donné, une liaison sans fil (14b) avec l'une des stations de base (12b) de ladite au moins une infrastructure de communication (9),
- des moyens de mémorisation comportant une liste de routeurs de base comportant les adresses IP des routeurs de base avec les infrastructures de communication associées desquels il est susceptible d'établir une liaison sans fil, et
- des moyens de connexion pour initier une connexion avec un routeur de base (11b) à partir de ladite liste de routeurs de base, après qu'une liaison sans fil (14b) a été établie.

2.- Architecture selon la revendication 1, caractérisée en ce que les routeurs principal (5), de base (17, 18, 11a-c) et mobiles (22) comportent, respecti-

vement, une table de routage et des moyens de mise à jour dynamique des tables de routage, chaque routeur de base comportant un moyen d'émission d'un message d'état de connexion indiquant au routeur principal les routeurs mobiles venant de se connecter ou de se déconnecter dudit routeur de base.

5           3.- Architecture selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens de connexion d'un routeur mobile (22) comportent un moyen de prédétection de perte de la connexion active et des moyens de stockage temporaire des données à transmettre lorsque la qualité de la connexion est réduite.

10           4.- Architecture selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'un routeur de base (17, 18, 11a-c) comporte des moyens de mémorisation comportant une liste de nouveaux routeurs de base, et en ce qu'un routeur mobile (22) comporte des moyens de mise à jour de sa liste de routeurs de base à partir de la liste de nouveaux routeurs de base du routeur de base auquel il se connecte.

15           5.- Architecture selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les routeurs de base (11a-c) sont connectés à l'infrastructure de communication (9) à laquelle ils sont associés de manière à ce que la distance entre un routeur de base et une station de base (12a-c) de l'infrastructure associée corresponde à une unique maille de réseau.

20           6.- Architecture selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que ladite au moins une infrastructure de communication (9) met en oeuvre une technologies de communication sans fil de courte portée du type Wifi, wimax ou l'équivalent.

25           7.- Architecture selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins des première et seconde infrastructures de communication (7, 8, 9) telles qu'une première cellule d'une première station de base de la première infrastructure se superpose, au moins partiellement, dans une région de recouvrement, à une seconde cellule d'une seconde station de base de la seconde infrastructure, et en ce que le routeur mobile (22) est apte à établir, simultanément, lorsque le véhicule (2) à bord duquel est embarqué ledit routeur mobile traverse ladite région de recouvrement, une première connexion avec un premier routeur de base (17, 18 ; 11a-c) par l'intermédiaire d'une pre-

mière liaison sans fil établie avec une station de base (7b, 8a-b, 12a-c) de la première infrastructure (7, 8, 9) et une seconde connexion avec un second routeur de base (17, 18 ; 11a-c) par l'intermédiaire d'une seconde liaison sans fil établie avec une station de base (7a, 8a-b, 12a-c) de la seconde infrastructure (7, 8, 9).

5           8.- Architecture selon la revendication 7, caractérisée en ce que les routeurs principal (5) et mobile (22) possèdent, respectivement, des moyens d'arbitrage permettant de sélectionner une route parmi une première route passant par ladite première infrastructure et une seconde route passant par ladite seconde infrastructure pour la communication en cours entre les premier et second  
10 équipements.

          9.- Architecture selon la revendication 8, caractérisée en ce que les première et seconde infrastructures (7, 8, 9) sont de type différent, mettant en œuvre des technologies différentes sélectionnées parmi les technologies Wifi, wi-max, GSM, UMTS, satellitaire ou l'équivalent, et en ce que chaque routeur mobile  
15 (22) comporte une pluralité de moyens de communication (27, 28, 29), chaque moyen de communication étant dédié à l'établissement d'une liaison sans fil avec une infrastructure (7, 8, 9) d'un type particulier.

          10.- Architecture selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, ledit véhicule (2) faisant partie d'une pluralité de véhicules  
20 et chaque véhicule comportant un unique second réseau local (21) équipé d'un routeur mobile (22), une adresse IP du second équipement (4) sur ledit réseau global est privée et est obtenue en concaténant un identifiant commun à la pluralité de véhicules, un identifiant (ID2) du véhicule (2) et un identifiant dudit second équipement sur ledit second réseau local (21) du véhicule (2) à bord duquel est  
25 embarqué ledit second équipement, et en ce que les tables de routage des routeurs sol, tels que les routeurs principal et de base, stockent l'identifiant du véhicule (ID2) à bord duquel est embarqué ledit second équipement, et en ce que lesdits routeurs au sol comportent des moyens permettant d'extraire de l'adresse IP contenue dans l'en-tête d'un datagramme à router l'identifiant du véhicule (ID2) à  
30 bord duquel est embarqué le second équipement auquel est adressé ledit datagramme.

          11.- Architecture selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, le routeur mobile (22) et un routeur de base (17, 18, 11a-c)

étant connectés par l'intermédiaire d'une infrastructure sous-jacente (7, 8, 9), et les adresses IP sur le réseau global étant privées, les routeurs mobile et de base comportent des moyens d'encapsulation et de « désencapsulation » des datagrammes qu'ils s'échangent pour qu'ils soient routés sur ladite infrastructure de communication.

12.- Procédé de communication IP asymétrique utilisant l'architecture selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 pour la communication entre un premier équipement informatique (1) fixe, au sol, connecté à un premier réseau local (3), et un second équipement informatique (4) mobile embarqué à bord d'un véhicule (2) d'une pluralité de véhicules, chaque véhicule de la pluralité de véhicules comportant un second réseau local équipé d'un routeur mobile, ledit second équipement étant connecté au second réseau local (21) du véhicule (2) à bord duquel il est embarqué,

caractérisé en ce que le procédé comporte les étapes, mises en œuvre par le routeur mobile (22) embarqué à bord dudit véhicule (2), consistant à :

a) établir une liaison sans fil entre une station de base (7b, 8a-b, 12a-c) d'une infrastructure de communication (7, 8, 9), la station de base étant équipée d'un moyen de communication radio, et ledit routeur mobile (22) comportant un moyen de communication radio (27, 28, 29) adapté ;

b) après que ladite liaison sans fil est établie avec une infrastructure (7, 8, 9), tester différentes adresses IP de routeurs de base (17, 18 ; 11a-c) reliés à ladite infrastructure, en attendant une réponse de l'un desdites routeurs de base ; et,

c) connecter le routeur mobile (22) au routeur de base ayant répondu.

13.- Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que, après initialisation de la connexion avec ledit routeur de base (17, 18, 11a-c), le procédé comporte les étapes consistant à :

d) mémoriser, dans une table de routage du routeur mobile (22), l'adresse IP, sur ladite infrastructure de communication (7, 8, 9), du routeur de base auquel il vient de se connecter ; et,

e) mémoriser, dans une table de routage du routeur de base, l'adresse IP, sur ladite infrastructure de communication, du routeur mobile venant de se connecter, ainsi qu'une référence associée à l'adresse IP, sur le réseau global, dudit routeur mobile ;

f) émettre, depuis ledit routeur de base (17, 18 ; 11a-c) vers un routeur principal (5) connecté audit premier réseau local (3), un message d'état de connexion contenant une référence associée à l'adresse IP sur le réseau global dudit routeur mobile ainsi que l'adresse IP sur le réseau global dudit routeur de base ; et,

5 g) mémoriser, dans une table de routage du routeur principal (5), l'adresse IP sur le réseau global du routeur de base (17, 18, 11a-c) qui a émis ledit message d'état de connexion et la référence associée à l'adresse IP sur le réseau global dudit routeur mobile.

10 14.- Procédé selon la revendication 12 ou la revendication 13, caractérisé en ce que, le routeur de base (17, 18, 11a-c) auquel un routeur mobile (22) vient de se connecter transmet à ce routeur mobile d'autres adresses IP de routeurs de base pour la mise à jour de ladite liste de routeurs de base mémorisée par le routeur mobile.

15 15.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, caractérisé en ce que le routeur mobile (22) met en œuvre un mécanisme de prédétection de perte de la connexion active (14b), et en cas de rupture potentielle de ladite connexion, le routeur mobile stocke dans une file de données les datagrammes à transmettre, exécute à nouveau les étapes a) à c) pour établir une autre liaison sans fil et une autre connexion à un serveur de base, et, une fois qu'une nouvelle  
20 connexion est établie, transmet les datagrammes stockés sur ladite nouvelle connexion.

25 16.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 15, caractérisé en ce que, alors que le routeur mobile (22) est connecté à un premier routeur de base via une première liaison sans fil avec une première station de base d'une première infrastructure de communication, par une nouvelle itération des étapes a) à c), le routeur mobile établit une seconde liaison sans fil avec une seconde station de base d'une seconde infrastructure de communication et se connecte à un second routeur de base, et en ce que les routeurs principal (5) et mobile (22) arbitrent pour sélectionner une route parmi une première route passant par ladite  
30 première infrastructure et une seconde route passant par ladite seconde infrastructure pour la communication en cours entre les premier et second équipements.

17.- Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que, le véhicule (2) faisant partie d'une pluralité de véhicules et chaque véhicule (2) comportant un

unique second réseau local (21) équipé d'un routeur mobile (22), l'adresse IP du second équipement (4) sur ledit réseau global étant alors privée et obtenue en concaténant un identifiant de ladite pluralité de véhicules, un identifiant dudit véhicule (ID2) et un identifiant dudit second équipement sur ledit second réseau local (21) dudit véhicule (2), l'étape de mise à jour de la table de routage du routeur principal (5) consiste à stocker l'identifiant dudit véhicule (ID2) en tant que référence associée à l'adresse IP dudit routeur mobile.

18.- Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que, pour la communication descendante du premier équipement (1) vers le second équipement (4), le routage exécuté par le routeur principal (5) comporte les étapes consistant à :

- intercepter un datagramme IP émis sur le premier réseau local (3), à destination du second équipement (4) ;
- extraire l'identifiant (ID2) du véhicule (2) à bord duquel est embarqué le second équipement (4) à partir de l'adresse IP de ce second équipement (4) indiquée dans la partie d'en-tête du datagramme IP intercepté ;
- lire, dans la table de routage du routeur principal (5), les adresses IP des routeurs de base (11a-c, 17, 18) qui, à l'instant considéré, sont en connexion avec le routeur mobile (22) dudit véhicule ;
- sélectionner un routeur de base parmi lesdits routeurs de base lus ; et,
- router le datagramme IP intercepté vers le routeur de base sélectionné.

19.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 18, caractérisé en ce que, pour la communication montante depuis le second équipement (4) vers le premier équipement (1), le routage exécuté par le routeur mobile (22) comporte les étapes consistant à :

- intercepter un datagramme IP émis sur le second réseau local (21) par ledit second équipement (4) à destination dudit premier équipement (1) ;
- lire, dans la table de routage du routeur mobile (22), l'adresse IP du routeur de base actuellement connecté audit routeur mobile (22) ; et,
- router le datagramme IP intercepté vers ledit routeur de base (5) en utilisant la liaison sans fil de l'infrastructure (7, 8, 9) associée audit routeur de base.

20.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 19, caractérisé en ce que les adresses IP sur le réseau global étant des adresses privées,

l'étape de transmission d'un datagramme IP entre le routeur de base (17, 18, 11a-c) et le routeur mobile (22) par l'intermédiaire de l'infrastructure de communication comporte les étapes consistant à :

- 5 - encapsuler un datagramme IP initial au niveau d'un premier routeur parmi le routeur mobile et le routeur de base ;
- transmettre le datagramme encapsulé vers l'autre routeur à travers ladite infrastructure de communication associée ;
- « désencapsuler » le datagramme IP reçu, au niveau de l'autre routeur, pour en extraire ledit datagramme IP initial.

