

RAPPORT UIT-R F.2086

**Caractéristiques techniques et opérationnelles et applications
de l'accès hertzien à large bande dans le service fixe**

(2006)

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction	3
2 Domaine de compétence.....	3
3 Références	3
4 Sigles et abréviations.....	4
5 Applications et services	6
6 Caractéristiques	6
6.1 Gammes de fréquences d'exploitation	6
6.2 Efficacité d'utilisation du spectre (SUE).....	7
6.3 Structures des topologies	9
6.3.1 Déploiement d'un réseau dans une topologie point à point.....	9
6.3.2 Déploiement d'un réseau dans une topologie P-MP.....	10
6.3.3 Déploiement d'un réseau dans une topologie MP-MP	10
6.3.4 Topologie combinant les topologies point à point, P-MP et MP-MP..	11
6.4 Antennes	12
6.5 Duplexage	12
6.6 Types de déploiement	12
6.6.1 Fonctionnement en visibilité directe (LoS).....	12
6.6.2 Fonctionnement sans visibilité directe (NLoS).....	12
6.6.3 Déploiement planaire	13
6.6.4 Déploiement ponctuel	15
6.6.5 Déploiement de raccordement	16
6.6.6 Déploiement mixte	16

	<i>Page</i>
6.7	Caractéristiques de transport..... 16
6.7.1	Indépendance des services 16
6.7.2	Prise en charge des services 16
6.7.3	Asymétrie souple..... 17
6.7.4	Adaptation des débits par abonné 17
6.7.5	Débit..... 18
6.7.6	Modularité..... 18
6.7.7	Sécurité propre aux communications hertziennes..... 18
6.8	Fonction de gestion du système 18
6.9	Limitation des brouillages 18
6.9.1	Types de brouillages 18
6.9.2	Techniques de limitation des brouillages..... 19
6.9.3	Application des techniques de limitation des brouillages..... 20
6.10	Prise en charge de nouvelles technologies..... 21
Annexe 1	– Exemple d'une application AHLB particulière..... 23

1 Introduction

Le présent Rapport décrit les caractéristiques et les applications de systèmes d'accès hertzien à large bande (AHLB) du service fixe à l'intention des administrations et des opérateurs souhaitant déployer ce type de système. Les systèmes AHLB, y compris les applications de réseaux locaux hertziens (RLAN) du service fixe, sont aujourd'hui très largement utilisés pour des équipements transportables, nomades ou fixes ainsi que pour divers services. Des normes traitent de l'interopérabilité et du fonctionnement de ces systèmes. On trouvera notamment dans les Recommandations UIT-R F.1763 et UIT-R F.1499 des normes relatives aux interfaces radioélectriques pour les systèmes AHLB fixes. Ces Recommandations définissent dans le détail les interfaces requises pour l'interopérabilité des équipements radioélectriques fonctionnant au-dessous de 66 GHz.

2 Domaine de compétence

Le présent Rapport fait la synthèse des caractéristiques génériques, d'ordre technique ou opérationnel, qui sont nécessaires pour que les utilisateurs finals puissent bénéficier des services assurés par des systèmes AHLB du service fixe, y compris les RLAN. Il contient des considérations techniques sur la gamme de fréquences utilisable ainsi que sur les caractéristiques de propagation des ondes radioélectriques en rapport avec le déploiement de ces systèmes. Des renseignements sur les conditions techniques ou opérationnelles à appliquer pour éviter les brouillages sont également fournis.

3 Références

- [1] Recommandation UIT-R F.1490 – Prescriptions génériques pour les systèmes d'accès hertzien fixe.
- [2] Rapport technique 101 856 V1.1.1 (2001-03) de l'ETSI, Broadband Radio Access Networks (BRAN) – «Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HIPERMAN».
- [3] IEEE 802.16.3-00/02r4, 22.09.2000 – Functional Requirements for the 802.16.3 Interoperability Standard.
- [4] Recommandation UIT-R F.1704 – Caractéristiques des systèmes hertziens fixes multipoint à multipoint ayant une configuration de réseau maillé et fonctionnant dans les bandes de fréquences supérieures à 17 GHz environ.
- [5] Recommandation UIT-R F.1401 – Principes à suivre pour l'identification de bandes de fréquences utilisables pour l'accès hertzien fixe et études de partage associées.
- [6] Recommandation UIT-R F.755 – Systèmes point à multipoint utilisés dans le service fixe.
- [7] Recommandation UIT-R F.1400 – Caractéristiques et objectifs de qualité et de disponibilité applicables à l'accès hertzien fixe au réseau téléphonique public avec commutation.
- [8] Recommandation UIT-R M.1450 – Caractéristiques des réseaux locaux hertziens à large bande.
- [9] Recommandation UIT-R F.1763 – Normes relatives aux interfaces radioélectriques pour les systèmes d'accès hertzien à large bande du service fixe fonctionnant au-dessous de 66 GHz.
- [10] Recommandation UIT-R F.1399 – Terminologie relative aux accès hertziens.
- [11] Recommandation UIT-R F.1499 – Systèmes de transmission radioélectriques pour l'accès hertzien fixe à large bande, sur la base des normes relatives aux câblo-modems.

- [12] Recommandation UIT-R SM.1046 – Définition du facteur d'utilisation du spectre et de l'efficacité d'utilisation du spectre d'un système radioélectrique.
- [13] Spécification technique 101 999 V1.1.1 (2002-04) de l'ETSI, Broadband Radio Access Networks (BRAN); HiperACCESS; PHY (Physical Layer) protocol specification.
- [14] Spécification technique 102 000 V1.4.1 (2004-07) de l'ETSI, Broadband Radio Access Networks (BRAN); HiperACCESS; DLC (Data Link control) protocol specification.
- [15] Projet de norme européenne 302 326 (V0.0.8 2004-10) de l'ETSI, Fixed Radio Systems; Multipoint equipment and antennas.
- [16] Norme T59 de l'ARIB, Fixed Wireless Access System using quasi-millimeter-wave and millimeter-wave band frequencies, Point-to-multipoint System (http://www.arib.or.jp/english/html/overview/st_e.html).
- [17] Rapport de l'UIT-R F.2060 – Utilisation du service fixe dans le réseau de transport IMT-2000.
- [18] Recommandation UIT-R F.746 – Disposition radioélectrique pour les systèmes du service fixe.
- [19] Rapport UIT-R F.2058, Techniques de conception applicables aux systèmes d'accès hertzien fixe à large bande acheminant des paquets IP ou des cellules en mode de transfert asynchrone.
- [20] Rapport UIT-R F.2047, Evolutions en matière de techniques et d'applications dans le service fixe.
- [21] Manuel de l'UIT-R sur l'accès hertzien fixe (Volume 1 du Manuel sur les communications mobiles terrestres).

4 Sigles et abréviations

AHF	accès hertzien fixe
AHLB	accès hertzien à large bande
AMRC	accès multiple par répartition de code
AMROF	accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence
AP	point d'accès (<i>access point</i>)
APS	modélage du diagramme d'antenne (<i>antenna pattern shaping</i>)
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATM	mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BEM	gabarit de la limite de bloc (<i>block edge mask</i>)
BRAN	réseau d'accès radioélectrique à large bande (ETSI) (<i>broadband radio access network</i> (ETSI))
C/I	rapport porteuse/brouillage (<i>carrier-to-interference</i>)
Diffserv	services différenciés (<i>differentiated services</i>)
DLC	commande de liaison de données (<i>data link control</i>)
DRF	duplex à répartition de fréquences
DRT	duplex à répartition dans le temps

ETSI	Institut européen des normes de télécommunication (<i>European Telecommunications Standards Institute</i>)
GPS	système mondial de radiorepérage (<i>global positioning system</i>)
HIPERMAN	réseau radioélectrique de zone urbaine à haute performance (<i>high performance radio metropolitan area network</i>)
IEEE	institut des ingénieurs en électricité et en électronique (<i>Institute of Electrical and Electronics Engineering</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
ISI	brouillage intersymboles (<i>inter-symbol-interference</i>)
ISP	fournisseurs de services Internet (<i>Internet service providers</i>)
LAN	réseau local (<i>local area network</i>)
LoS	visibilité directe (<i>line-of-sight</i>)
MA	accès multiple (<i>multiple access</i>)
MAN	réseau de zone urbaine (<i>metropolitan area network</i>)
MAQ	modulation d'amplitude en quadrature
MDF	modulation par déplacement de fréquence
MIMO	entrées multiples, sorties multiples (<i>multiple input multiple output</i>)
MPEG4	groupe d'experts pour les images animées – 4 (<i>Moving Picture Experts Group 4</i>)
MPLS	commutation multiprotocole par étiquette (<i>multi-protocol label switching</i>)
MP-MP	multipoint-multipoint (<i>multipoint-to-multipoint</i>)
MROF	multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence
MUD	détection multi-utilisateur (<i>multi-user detection</i>)
NLoS	sans visibilité directe (<i>non-line-of-sight</i>)
PME	petite ou moyenne entreprise
P-MP	point-multipoint
PoI	point d'interface (<i>point of interface</i>)
QoS	qualité de service (<i>quality of service</i>)
RLAN	réseau local hertzien (<i>radio local area network</i>)
RSVP	protocole de réservation de ressource (<i>resource reservation protocol</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SINR	rapport signal/bruit + brouillage (<i>signal and interference to noise ratio</i>)
SLA	accord de niveau de service (<i>service level agreement</i>)
SNMP	protocole simple de gestion de réseau (<i>simple network management protocol</i>)
SOHO	professions libérales et télétravailleurs (<i>small office home office</i>)
TCP/IP	protocole de commande de transmission/protocole Internet (<i>transmission control protocol/Internet protocol</i>)
TEB	taux d'erreur binaire

VoIP	téléphonie sur Internet (<i>voice over Internet protocol</i>)
WAN	réseau étendu (<i>wide area network</i>)
WAS	système d'accès hertzien (<i>wireless access system</i>)

5 Applications et services

Les systèmes AHLB fonctionnant dans le service fixe devraient prendre en charge une grande diversité d'applications utilisées aujourd'hui tout en étant compatibles avec des services futurs. A ce jour, les principales applications d'utilisateur prévisibles sont les suivantes:

- accès Internet (par exemple, versions IP4 et 6)
- pontage LAN et accès LAN à distance
- Les protocoles pourraient prendre en charge des capacités de service LAN ponté et d'accès LAN à distance.
- visiotéléphonie et visioconférence
- jeux informatiques
- services vidéo et audio en temps réel
- télé-médecine, télé-enseignement
- services de téléphonie/vocaux (par exemple, la téléphonie sur Internet)
- modems et télécopieurs en bande vocale

Le système pourrait faciliter des services monodiffusion et multidiffusion ainsi que des services de radiodiffusion.

Il est également possible d'utiliser des systèmes AHLB fixes pour assurer des liaisons de raccordement pour des LAN, des réseaux de zone urbaine (MAN) et des réseaux mobiles cellulaires ainsi que des anneaux à hiérarchie numérique synchrone (SDH).

6 Caractéristiques

On trouvera dans les paragraphes qui suivent une présentation de certaines des caractéristiques requises pour déployer les systèmes AHLB du service fixe. Les bandes de fréquences qui devront être utilisées pourront varier d'un pays à l'autre. Il convient de prévoir un plan de fréquences approprié ainsi que la disponibilité des équipements, de façon à assurer la réutilisation des fréquences et à faire en sorte que les équipements soient produits à l'échelle requise.

Il convient de tenir compte d'autres caractéristiques pour le déploiement des systèmes AHLB, notamment pour favoriser une utilisation efficace du spectre, la qualité de service (QoS) et l'utilisation de nouvelles technologies.

6.1 Gammes de fréquences d'exploitation

Les systèmes AHLB fixes devraient être exploités dans une large gamme de fréquences, de façon à être compatibles avec les diverses bandes disponibles dans tel ou tel pays. La Recommandation UIT-R F.1401 peut fournir des éléments d'orientation en ce qui concerne la détermination des bandes de fréquences possibles pour l'AHLB et les études de partage connexes.

On trouvera dans le Tableau 1 des informations supplémentaires relatives aux bandes de fréquences utilisées par certaines administrations pour des systèmes d'accès hertzien (WAS), dont l'AHLB et les RLAN. Les systèmes BWA peuvent utiliser diverses techniques de modulation d'accès.

TABLEAU 1

**Exemples de gammes de fréquences utilisées par certaines administrations
pour les systèmes WAS, dont l'AHLB et les RLAN***

Fréquence	Gammes/bandes de fréquences
Ondes décimétriques (300-3 000 MHz)	800/900 MHz 902-928 MHz 1 800/1 900 MHz 2 400-2 483,5 MHz
Ondes centimétriques (3-30 GHz)	3,3-3,9 GHz 4,9-5,0 GHz 5,150-5,250 GHz 5,250-5,350 GHz 5,470-5,725 GHz 5,725-5,850 GHz 18 GHz 24/25/28/29 GHz
Ondes millimétriques (30-300 GHz)	32 GHz 38 GHz 40 GHz

* Ces bandes ne sont pas nécessairement attribuées au service fixe en vertu de l'Article 5 du Règlement des radiocommunications (RR) et peuvent inclure par exemple des applications fixes du service mobile.

Chaque système AHLB est généralement conçu pour utiliser un ou des espacements de canaux et une ou des largeurs de bandes spécifiques, en fonction des normes appliquées ou des modèles du constructeur concerné. Toutefois, il est possible de concevoir différents systèmes AHLB ayant des espacements de canaux différents et destinés à différentes configurations de déploiement selon diverses sectorisations du réseau des stations de base, le but étant d'assurer une utilisation efficace du spectre dans les limites des bandes ou des blocs de fréquences sous licence disponibles.

En ce qui concerne la disposition des fréquences radioélectriques pour les systèmes d'accès hertzien fixes (AHF), y compris les systèmes AHLB, d'autres recommandations de l'UIT-R peuvent également fournir des éléments d'orientation (par exemple, la Recommandation UIT-R F.746).

6.2 Efficacité d'utilisation du spectre (SUE)

On trouvera dans la Recommandation UIT-R SM.1046, des renseignements sur l'efficacité SUE, notamment des critères généraux d'évaluation et de comparaison des efficacités d'utilisation du spectre. Il ressort des études réalisées par la Commission d'études (CE) 1 des radiocommunications mentionnées dans cette Recommandation que l'efficacité SUE devrait être mesurée sous forme du rapport entre le volume d'informations transmises sur une distance donnée et le facteur d'utilisation du spectre. Les facteurs qui déterminent l'efficacité d'utilisation du spectre comprennent notamment les techniques d'isolation utilisées: directivité de l'antenne, espacement géographique, partage des fréquences, polarisations orthogonales, temps partagé ou répartition dans le temps.

L'un des facteurs qui détermine la largeur de bande¹ occupée réside dans les caractéristiques du modelage ou du filtrage du spectre. L'équipement devrait permettre une utilisation efficace du spectre, sans quasiment aucune dégradation de la capacité en cas de colocalisation des points d'accès et d'utilisation de canaux adjacents.

Pour parvenir à ce qui précède, lorsque des canaux ou des blocs adjacents sont attribués à différents opérateurs, une certaine bande de garde depuis la fréquence en limite est requise. Une telle méthode a pour effet, d'une part, de réguler la largeur de bande de séparation de la porteuse utilisable dans chaque bande sous licence et, d'autre part, d'imposer que cette largeur de bande soit la même pour toutes les bandes sous licence.

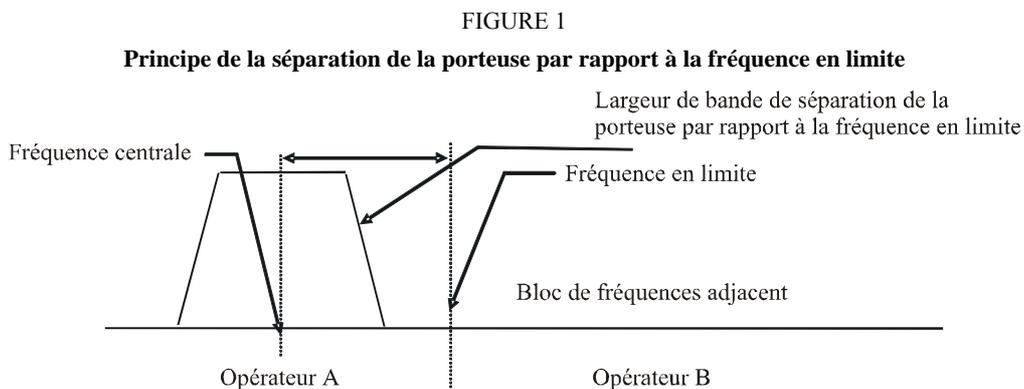
Un exemple de la séparation requise entre la porteuse et la fréquence en limite pour des systèmes point-multipoint (P-MP) est donné ci-après. Sur la Fig. 1, la fréquence centrale de la porteuse émise devrait être séparée, par une largeur de bande donnée, de la limite du bloc de fréquences adjacent qui est attribué à un opérateur différent.

En l'espèce, cette largeur de bande est définie comme suit:

$$BW = 1,25 \times BW_0$$

où BW_0 est la largeur de bande comprise entre la fréquence centrale et la fréquence la plus proche à laquelle le niveau relatif du spectre mesuré devient inférieur de -23dB au niveau maximal du spectre.

En principe, l'opérateur devrait utiliser en priorité, à l'intérieur du bloc qui lui est attribué, les canaux radioélectriques les plus proches de la fréquence centrale de ce bloc. Dans des systèmes multiporteuses, les exigences ci-dessus devraient s'appliquer à la porteuse la plus éloignée de la fréquence centrale du bloc.



¹ Largeur de la bande de fréquence telle que, au-dessous de sa fréquence limite inférieure et au-dessus de sa fréquence limite supérieure, soient émises des puissances moyennes égales chacune à un pourcentage donné $\beta/2$ de la puissance moyenne totale d'une émission donnée (définition figurant au numéro 1.153 du RR).

Une autre méthode, dite du gabarit de la limite de bloc (BEM, *block edge mask*), est également utilisée pour attribuer des blocs de fréquences adjacents à des opérateurs situés dans la même zone géographique. Ces blocs contigus sont attribués sans bande de garde, l'équipement utilisé devant respecter les paramètres du gabarit BEM. Conformément à cette méthode, les opérateurs peuvent déployer des systèmes avec n'importe quelle largeur de bande de séparation de la porteuse, y compris des largeurs de bande différentes dans des blocs adjacents, pour autant que leurs émissions en limite du bloc soient inférieures au gabarit BEM.

6.3 Structures des topologies

Il existe quatre types de topologie de base:

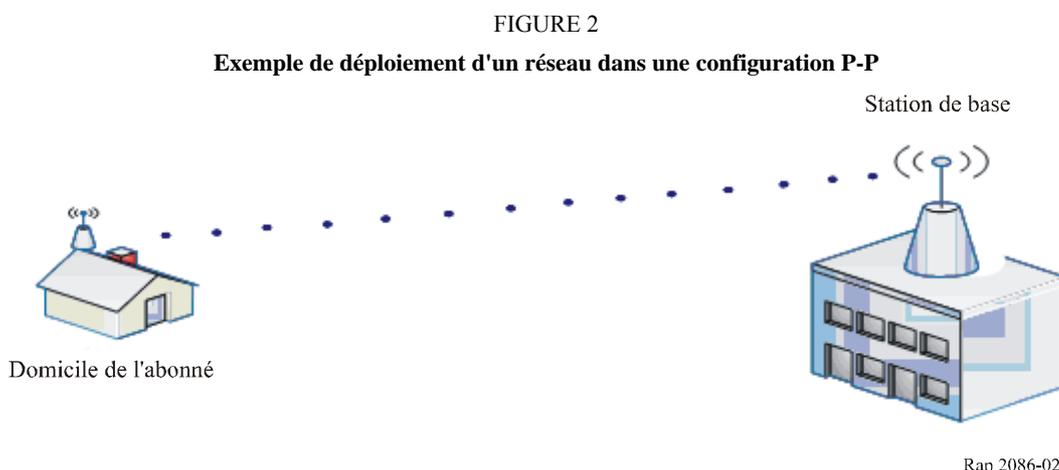
- topologie point à point classique, dans laquelle une station communique directement avec une autre;
- topologie point-multipoint (P-MP) classique, dans laquelle chaque unité d'abonné communique directement avec une station de base;
- une topologie multipoint-multipoint (MP-MP) en réseau maillé, dans laquelle les unités d'abonné communiquent avec les systèmes voisins les plus proches et où l'information est retransmise via le réseau maillé d'une façon comparable au trafic Internet;
- topologie combinant les topologies point à point, P-MP et MP-MP.

La différence principale entre la topologie P-MP et la topologie MP-MP réside dans le fait que, en mode P-MP, le trafic intervient uniquement entre la station de base et les unités d'abonné, alors que dans une topologie MP-MP, il peut intervenir directement entre les unités d'abonné et être aussi acheminé plus avant via d'autres unités d'abonné. Il convient de noter qu'une application point à point peut être utilisée comme une liaison élémentaire dans une topologie P-MP ou MP-MP, et que certaines liaisons de raccordement comprenant une infrastructure mobile peuvent également utiliser une application point à point.

Les structures des quatre topologies ci-dessus (point à point, P-MP, MP-MP et topologie mixte) devraient être évaluées au moment où l'on envisage de les mettre en œuvre.

6.3.1 Déploiement d'un réseau dans une topologie point à point

Dans des systèmes point à point, le trafic est transmis directement d'une station à une autre. Les systèmes point à point servent notamment à établir des liaisons de raccordement pour les réseaux LAN, MAN et les réseaux mobiles cellulaires.



6.3.2 Déploiement d'un réseau dans une topologie P-MP

Dans des systèmes P-MP, la totalité du trafic de données (données, voix ou multimédia) devrait passer par la station de base qui doit faire fonction de contrôleur des ressources radioélectriques.

Un exemple du déploiement d'un réseau dans ce type de configuration est représenté sur la Fig. 3. La station de base peut desservir des bâtiments isolés, plusieurs abonnés dans plusieurs bâtiments (au moyen de plusieurs liaisons radioélectriques), ou plusieurs abonnés dans un seul bâtiment, au moyen d'une liaison radioélectrique unique couplée à des systèmes de distribution installés à l'intérieur du bâtiment. L'exemple illustre comment un répéteur facultatif et la diversité d'acheminement sont utilisés pour assurer une couverture étendue, y compris dans des zones difficiles. Cet exemple ne signifie pas que tous les systèmes présentent ces caractéristiques.

Les stations de base AHLB sont déployées de façon à former des cellules contiguës ou à assurer une couverture ponctuelle.

6.3.3 Déploiement d'un réseau dans une topologie MP-MP

Il peut s'agir d'une topologie MP-MP en réseau maillé.

On trouvera un exemple de système MP-MP ayant une topologie de réseau maillé sur la Fig. 4. Le réseau maillé hertzien comprend des nœuds hertziens qui sont soit des sites d'abonné, soit des nœuds relais sans trafic d'origine ou de terminaison, ou bien encore des points d'interface (PoI) avec d'autres réseaux, tels que ceux des fournisseurs de services Internet (ISP). On peut considérer l'ensemble du réseau représenté sur la Fig. 4 comme un système MP-MP. Lorsqu'il existe au moins un trajet en diversité dans le réseau, on désigne plus particulièrement le système sous la dénomination «système MP-MP avec configuration de réseau maillé» (voir la Recommandation UIT-R F.1704).

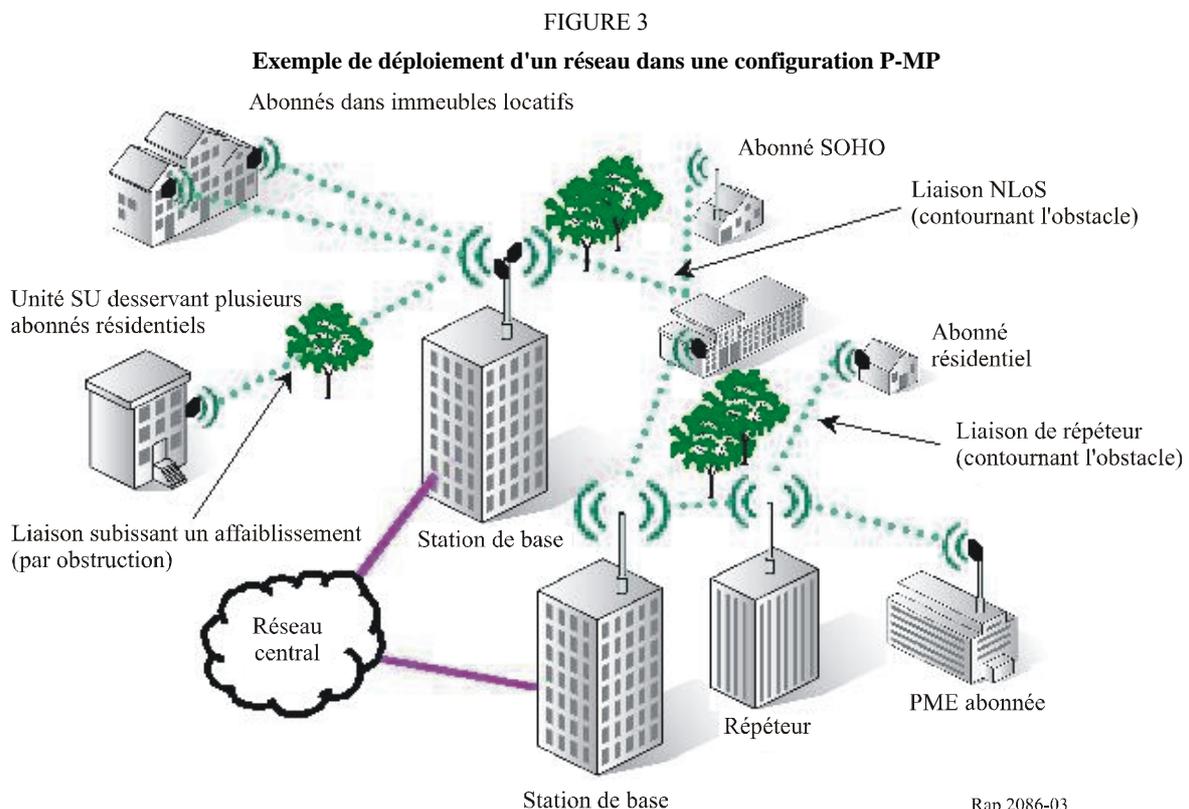
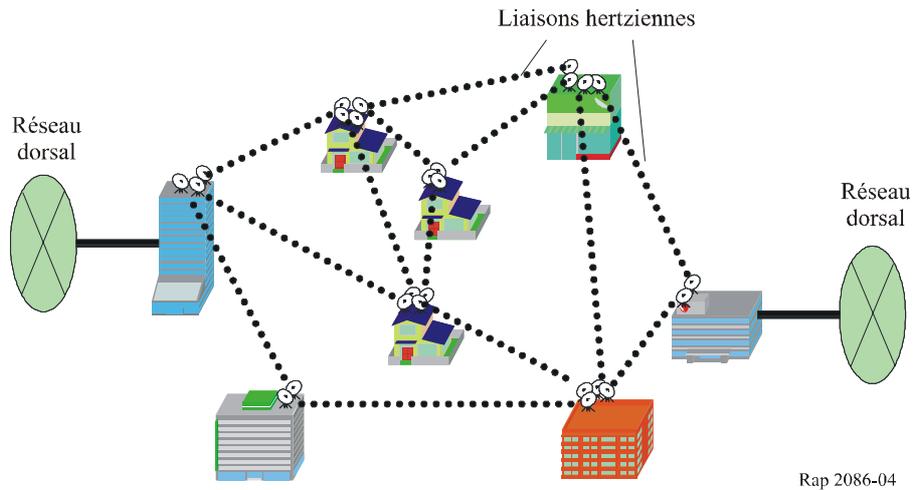


FIGURE 4

Illustration du déploiement d'un réseau dans une configuration MP-MP

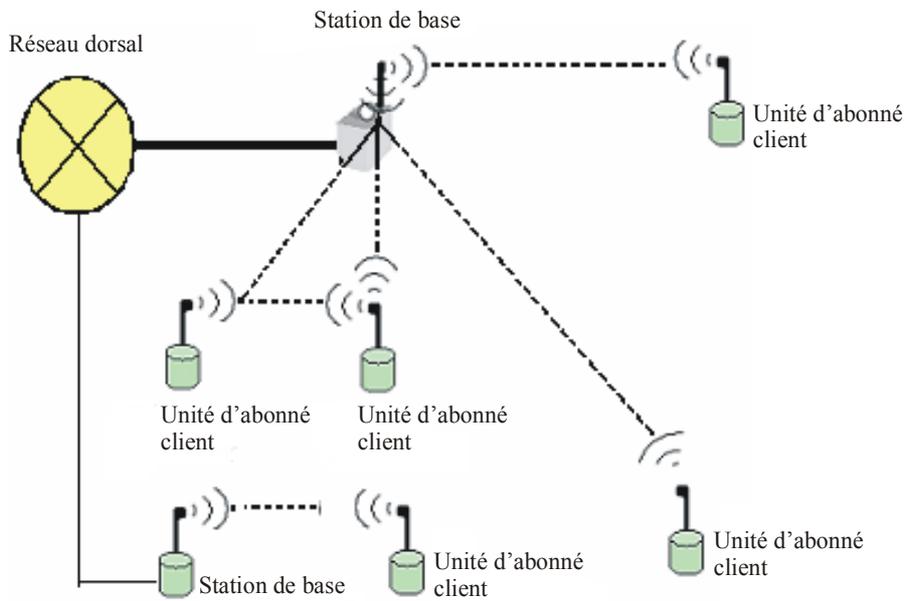


6.3.4 Topologie combinant les topologies point à point, P-MP et MP-MP

Un exemple de cette topologie mixte est représenté sur la Fig. 5. Dans cette configuration, le réseau hertzien peut avoir des liaisons P-MP et des liaisons MP-MP et la station de base prenant en charge son unité d'abonné peut être connectée aux autres réseaux via le réseau dorsal.

FIGURE 5

Exemple de déploiement d'un réseau dans une configuration combinant les topologies point à point, P-MP et MP-MP



6.4 Antennes

La qualité de fonctionnement des antennes est définie de différentes façons. Du point de vue des brouillages, c'est le rapport entre les lobes avant et les lobes arrière qui est l'un des paramètres les plus importants dans une topologie cellulaire, même si la suppression générale des lobes latéraux reste un élément important. Il s'agit du rapport entre le gain dans la direction du faisceau principal de l'antenne et le gain dans la direction opposée (voir le § 6.9.2.2).

6.5 Duplexage

Il est possible de mettre en œuvre les systèmes d'AHLB du service fixe soit en mode DRF ou en mode DRT, soit en combinant ces deux modes.

En mode DRF, la station de base devrait fonctionner en duplex intégral. L'unité d'abonné peut choisir de fonctionner en mode DRF intégral ou en mode semi-DRF. Pour prendre en charge des unités d'abonné fonctionnant en mode semi-DRF, la station de base doit faire en sorte qu'une unité d'abonné de ce type ne soit pas programmée pour émettre et recevoir simultanément.

En mode DRT, le système peut prendre en charge des durées dynamiques variables pour la liaison montante et la liaison descendante, en fonction du trafic asymétrique existant, et avec la synchronisation requise dans la zone où les systèmes DRT sont utilisés, afin de permettre la prise en charge de plusieurs systèmes.

Il convient de sélectionner la technique de duplexage conjointement avec les techniques de modulation et d'accès multiple les mieux indiquées. Plusieurs combinaisons de techniques d'accès multiple et de techniques de modulation ont été établies sous la forme de normes AHLB qui font l'objet des publications de l'UIT-R ci-après:

- Rapport UIT-R F.2058 – Techniques de conception applicables aux systèmes d'accès hertzien fixe à large bande acheminant des paquets en Protocole Internet ou des cellules en mode de transfert asynchrone;
- Recommandation UIT-R M.1450 – Caractéristiques des réseaux locaux hertziens à large bande.

6.6 Types de déploiement

6.6.1 Fonctionnement en visibilité directe (LoS)

Le système AHLB devrait être à même de fonctionner dans des conditions LoS avec différentes polarisations, indépendamment de la bande de fréquences dans laquelle il est exploité.

6.6.2 Fonctionnement sans visibilité directe (NLoS)

La capacité d'un système de fonctionner en NLoS peut assouplir les conditions d'installation d'une antenne, voire en supprimer la nécessité et permet de recourir à des terminaux pouvant être installés par l'utilisateur, ce qui peut sensiblement réduire le coût du déploiement.

Lorsqu'il est exploité dans les bandes de fréquences inférieures, par exemple au-dessous de 6 GHz, un système AHLB peut être à même de fonctionner en NLoS. Compte tenu de la propagation par trajets multiples inévitable dans les bandes de fréquences visées, le système pourra peut-être tolérer une latence de plusieurs μ s, sans que sa qualité de fonctionnement subisse une dégradation importante.

Le fonctionnement en NLoS suppose la résistance du système à la propagation par trajets multiples ainsi qu'un gain accru. Les systèmes AHLB fonctionnant dans ces conditions fournissent généralement des moyens d'accroître le bilan de la liaison montante, sans avoir d'incidence sur la complexité du terminal d'abonné.

6.6.3 Déploiement planaire

Les fournisseurs de services optent pour des déploiements planaires lorsqu'ils décident d'assurer un service AHLB ubiquitaire sur une vaste zone. Ce type de déploiement a l'avantage de permettre une couverture uniforme dans l'ensemble de la zone, mais il a l'inconvénient d'exiger une planification et une conception préalables importantes.

On trouvera des éléments d'orientation sur les techniques de conception à utiliser pour des déploiements planaires dans des Manuels de l'UIT, tels que le Manuel sur l'accès hertzien fixe et dans des publications d'organisations autres que l'UIT. Des exemples précis sont donnés ci-après.

Des exemples de planification des fréquences suivant un déploiement planaire sont donnés sur la Fig. 6. Afin d'éviter les brouillages, les fréquences utilisées dans chaque cellule doivent suivre des modalités de déploiement strictes. On détermine les schémas de réutilisation des fréquences compte tenu du rapport C/I requis et des canaux de fréquences disponibles. Sur la Fig. 6a), qui représente un déploiement planaire type à cellules hexagonales, sept canaux sont utilisés sur l'ensemble du réseau. La Fig. 6b) représente un déploiement cellulaire type comportant six secteurs par point d'accès, dans lequel seuls trois canaux sont utilisés sur l'ensemble du réseau. Dans ce scénario de déploiement, tous les points d'accès sont synchronisés de façon à ce qu'ils émettent et reçoivent, suivant des cycles appropriés, les fréquences pouvant ainsi être réutilisées de la manière décrite.

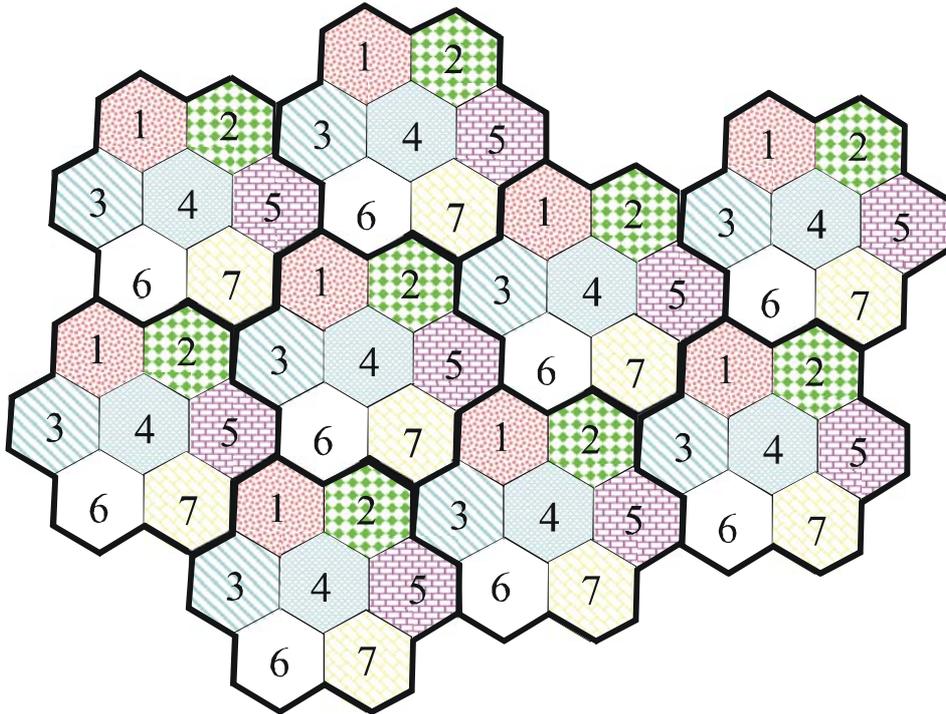
En ce qui concerne les systèmes faisant appel à des techniques de modulation moins élaborées, le rapport C/I détermine souvent les modalités de réutilisation des fréquences. Cela s'explique par le fait que, avant de pouvoir être réutilisé à l'emplacement d'une deuxième cellule, un canal de fréquence donné doit être suffisamment éloigné pour respecter le rapport C/I .

La portée d'un système donné fonctionnant en LoS peut être calculée comme suit: déterminer tout d'abord le «bilan de liaison» disponible, puis le comparer aux Tableaux 2 et 3. Les Tableaux 2 et 3 sont des exemples de bilans de liaison pour des systèmes fonctionnant respectivement à 2,4 et à 5,8 GHz. On notera que le trajet retour est généralement le facteur contraignant, et il est suggéré de l'utiliser pour déterminer la portée.

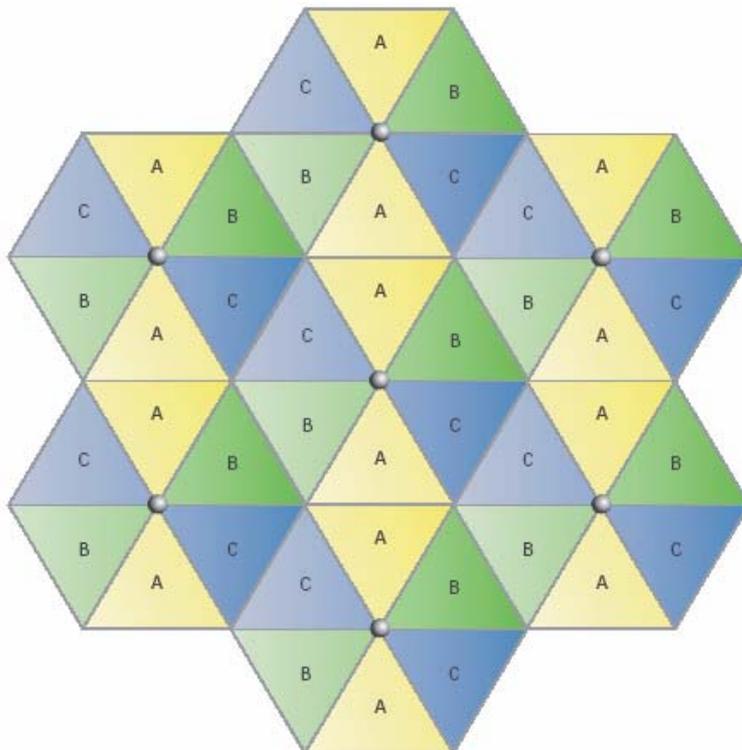
- Bilan de liaison (dB) = puissance de l'émetteur (dBm)
- + Gain de l'antenne de la station d'émission (dBi)
- + Gain de l'antenne de la station de réception (dBi)
- Sensibilité à la réception (–xxdBm)
- Affaiblissements dans le câble de l'antenne
- Marge RF de protection contre les évanouissements
- Marge de protection contre les brouillages

FIGURE 6

Exemples de planification des fréquences dans le cas d'un déploiement planaire



a) Déploiement planaire à cellules hexagonales



b) Déploiement planaire à cellules composées de six secteurs triangulaires

TABLEAU 2

Exemple d'un bilan de liaison à 2,4 GHz

Bilan de liaison (dB)	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130
Distance (km)	1	1,5	2	3	4	6	8	11	16	23	32

TABLEAU 3

Exemple d'un bilan de liaison à 5,8 GHz

Bilan de liaison (dB)	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	131	134	137	139
Distance (km)	0,4	0,6	0,8	1	1,7	2,5	3,5	5	7	10	14	20	27	32

Un déploiement planaire pour un système faisant appel à des techniques de modulation d'ordre supérieur a généralement l'effet net suivant: il faut davantage de canaux pour respecter le rapport C/I .

6.6.3.1 Synchronisation

Lors du déploiement d'un système DRT selon une topologie planaire, il est souhaitable de pouvoir utiliser la même fréquence à l'emplacement de chaque cellule, même dans l'éventualité où ces emplacements sont éloignés de plusieurs kilomètres. Dans ces conditions, un brouillage dans un même canal peut survenir entre des secteurs identiques de stations de base adjacentes. Dans ce cas, une synchronisation intercellulaire est nécessaire afin de garantir que tous les secteurs de tous les emplacements des cellules sont parfaitement cadencés et synchronisés pour les communications descendantes et les communications montantes.

Assurer une synchronisation très précise sur une superficie pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres carrés peut être problématique. Si l'on utilise un système conçu pour des déploiements de réseaux denses à grande échelle, la synchronisation DRT est une condition fondamentale, que l'utilisation d'un signal GPS permet de satisfaire. Ces signaux satellitaires précis sont utilisés pour cadencer et finalement synchroniser l'émission et la réception, de telle sorte que tous les secteurs d'un réseau soient calés sur la même «horloge». Il y a lieu de noter que ce processus de synchronisation s'applique uniquement aux systèmes à modulation numérique.

6.6.4 Déploiement ponctuel

Le déploiement d'un système AHLB commence souvent par un «déploiement ponctuel». Cette topologie consiste en un seul emplacement de cellule, ou éventuellement en plusieurs qui ne sont pas contigus géographiquement, mais qui sont choisis pour desservir des zones bien spécifiques. Ce modèle est le contraire d'un déploiement planaire, dont l'objectif est d'assurer une couverture AHLB à l'échelle d'une région tout entière où les emplacements de cellule sont donc déterminés de façon à ce qu'il n'y ait pas de zone NLoS à l'intérieur de la zone de couverture.

Lorsqu'un système AHLB fixe est déployé selon cette méthode de desserte «ponctuelle», en supposant que chaque «point» desservi est suffisamment éloigné des autres «points», la coordination et la planification des fréquences ne posent généralement pas de problèmes en termes de brouillages à l'intérieur du système. Par conséquent, pour chaque emplacement de cellule, seule l'optimisation de la zone en question, prise isolément, guide le choix des options de déploiement.

6.6.5 Déploiement de raccordement

Dans de nombreux cas, les réseaux P-MP sont situés dans des zones où le développement de l'infrastructure filaire n'est pas suffisamment développé. L'emplacement des cellules est défini en fonction de certains facteurs, tels que les lieux où se trouvent les abonnés potentiels, l'existence d'une tour ou d'un bâtiment élevé susceptible d'être utilisé, etc.

Lorsque l'emplacement de la station de base n'est pas raccordé au réseau central par une connexion importante en fils de cuivre ou à fibres optiques, il faut également disposer d'une solution point à point pour fournir la liaison de raccordement indispensable à la connexion du système AHLB. En outre, une des applications intéressantes des systèmes AHLB réside dans le fait que ceux-ci peuvent servir à assurer une liaison de raccordement pour d'autres réseaux LAN fonctionnant à l'intérieur de la zone de couverture du système AHLB.

6.6.6 Déploiement mixte

Les systèmes AHLB fixes sont souvent déployés avec des systèmes AHLB de natures différentes, autrement dit des systèmes mobiles ou nomades, permettant ainsi la fourniture de services AHLB intégrés. Ces applications sont particulièrement utiles dans des environnements où une infrastructure filaire n'est pas encore en place.

Si la conception des équipements hertziens assurant un accès AHLB est fondée sur des spécifications d'interopérabilité, telles que celles figurant dans la Recommandation UIT-R F.1763, le coût global de ces installations hertziennes peut être raisonnablement réduit. Un exemple précis d'une application AHLB intégrée est présenté dans l'Annexe 1.

6.7 Caractéristiques de transport

6.7.1 Indépendance des services

Un système AHLB fixe devrait fournir des services sans nécessiter d'informations sur le type d'application.

6.7.2 Prise en charge des services

6.7.2.1 QoS

Le système doit offrir des garanties de QoS pour fournir les services acheminés. Par conséquent, les normes de protocole devraient définir des interfaces et des procédures qui tiennent compte des besoins des services en ce qui concerne l'attribution des ressources radioélectriques par ordre de priorité. Les applications actuelles et leurs relations sont représentées sur la Fig. 7.

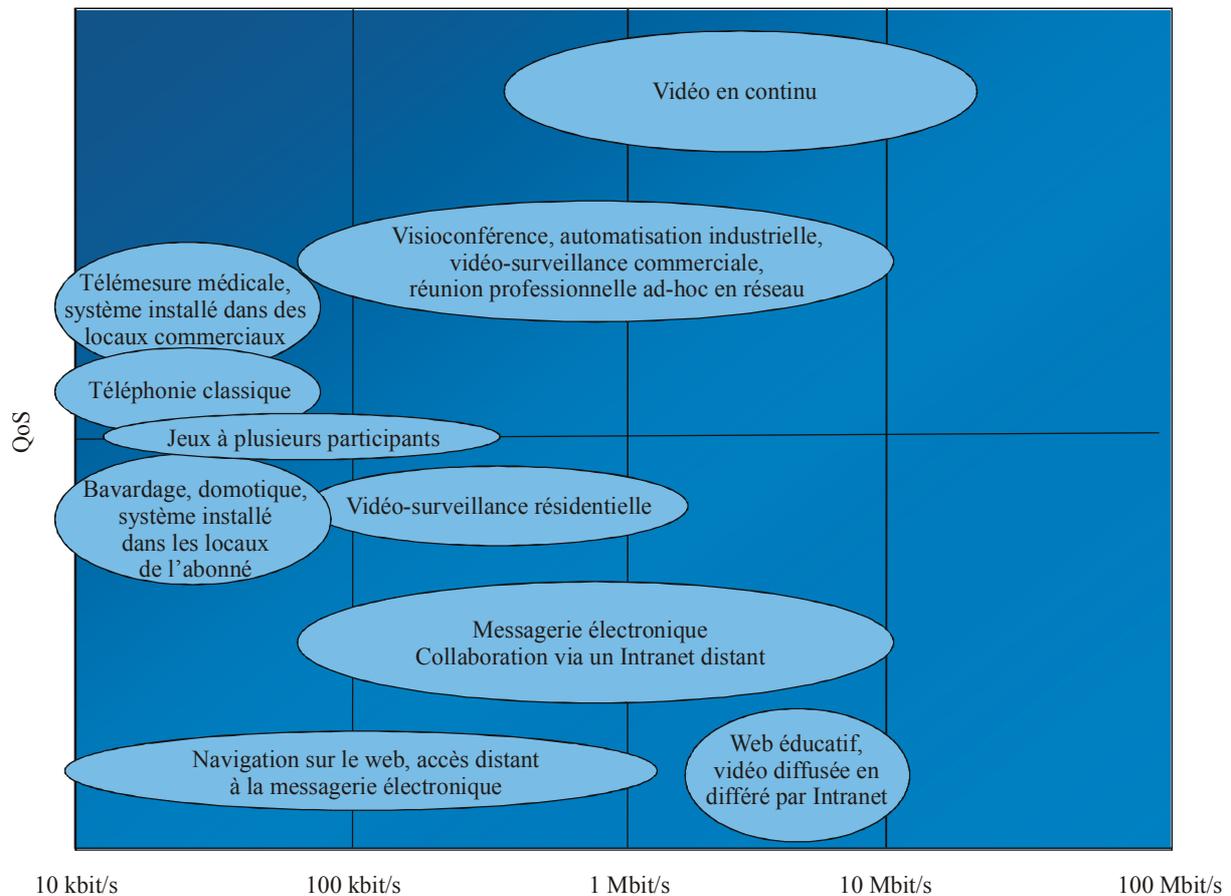
6.7.2.2 Corrélation des niveaux de QoS des applications

Le mécanisme de base dont sont dotés les systèmes pour tenir compte des exigences relatives à la QoS ou aux classes de service devrait pouvoir attribuer différentes largeurs de bande à différentes applications. Certains protocoles comportent un mécanisme qui prend en charge des canaux et des trajets dont la largeur de bande est dynamiquement variable (sur le modèle de ceux définis pour des environnements IP).

Etant donné que les unités clients entreront en conflit pour obtenir la capacité à destination ou en provenance d'une ou de plusieurs stations de base, ce conflit et l'attribution de la largeur de bande sont des questions qui devraient être résolues de façon efficace.

FIGURE 7

Quelques applications actuellement disponibles et leurs besoins types en termes de largeur de bande et de QoS



Rap 2086-07

6.7.3 Asymétrie souple

Pendant un bref laps de temps (de l'ordre de quelques secondes par exemple), le trafic généré par un utilisateur donné et celui destiné à un autre utilisateur donné peuvent se caractériser par une très grande asymétrie dans les deux sens. Certains systèmes AHLB sont tout à fait compatibles avec ce type de trafic asymétrique. Pendant des laps de temps plus longs, un utilisateur donné peut avoir besoin en moyenne d'une largeur de bande plus importante dans un sens que dans l'autre.

Le volume total du trafic généré par tous les utilisateurs et à destination de tous les utilisateurs partageant la même ressource radioélectrique peut être asymétrique pendant un instant donné, voire pendant un long laps de temps, selon le type d'utilisateur connecté à la ressource partagée.

6.7.4 Adaptation des débits par abonné

Il est possible d'appliquer différentes techniques de modulation ou différentes options de codage en fonction de l'éloignement ou de la proximité des stations d'abonné. Ainsi, les débits des données à destination ou en provenance d'abonnés relativement proches peuvent être élevés, ce qui accroît la capacité globale du système. En outre, les abonnés éloignés peuvent subir différents types de brouillages et auraient donc tout à gagner d'une adaptation des débits. La plupart des systèmes AHLB assurent la prise en charge de plusieurs débits.

Il est souhaitable de tenir compte des questions relatives à la capacité des canaux et des variations de cette capacité pour respecter les niveaux de service prévus dans le contrat passé avec les

abonnés. Par exemple, des types de modulation souples, une adaptation du niveau de la puissance et des techniques de réservation de la largeur de bande sont des moyens couramment employés.

6.7.5 Débit

Bien que le débit dépende de divers facteurs (largeur de bande, techniques de modulation, etc.), il est souhaitable, pour être compétitif par rapport aux solutions filaires, que le système puisse prendre en charge, au niveau du point d'accès, un débit supérieur à plusieurs dizaines de Mbit/s, lequel représente le débit binaire cumulatif instantané (en amont et en aval) qui doit être partagé entre les utilisateurs.

6.7.6 Modularité

Des protocoles modulables permettent des capacités et une qualité de fonctionnement différentes en fonction des systèmes. Les systèmes AHLB prennent souvent en charge les éléments requis pour optimiser la modularité d'un déploiement.

6.7.7 Sécurité propre aux communications hertziennes

Les systèmes AHLB fournissent généralement des moyens sécurisés d'authentification, d'autorisation et de cryptage pour garantir la confidentialité.

6.8 Fonction de gestion du système

Le système devrait définir une interface de gestion du réseau sur la base des protocoles existants fondés sur des normes ouvertes (par exemple le protocole SNMP), qui permette les fonctionnalités de gestion suivantes:

– Gestion des dérangements et de la qualité de fonctionnement

Ces protocoles devraient permettre de contrôler les dérangements et la qualité de fonctionnement et fournir également des moyens de vérifier chaque unité d'abonné localement ou à distance. Cette fonctionnalité de gestion doit comprendre des capacités, telles que le réamorçage, la réactivation et l'arrêt du système.

– Gestion de la configuration et des mises à niveau des logiciels

Les protocoles devraient permettre de configurer le système, localement ou à distance, et notamment de mettre à niveau le logiciel d'un dispositif, quel qu'il soit, du réseau sans provoquer d'interruption du service.

– Sécurité

Le système devrait permettre la fourniture de services d'authentification et d'autorisation centralisés.

– Gestion des services

Les protocoles devraient permettre aux opérateurs de respecter les accords de niveau de service (SLA) passés avec les abonnés en limitant leur accès à la liaison hertzienne, en excluant certaines données, en contrôlant dynamiquement la largeur de bande dont dispose l'utilisateur ou en recourant à tout autre moyen approprié.

6.9 Limitation des brouillages

6.9.1 Types de brouillages

Les brouillages subis par un système AHLB peuvent être répartis en deux catégories, à savoir les brouillages à l'intérieur du système et les brouillages entre systèmes. Les brouillages à l'intérieur du système peuvent survenir dans la cellule même ou entre les cellules.

6.9.2 Techniques de limitation des brouillages

Les paragraphes ci-après décrivent les techniques de limitation des brouillages qui peuvent être utilisées par des systèmes AHLB.

6.9.2.1 Positionnement des emplacements lors de la planification du réseau

Le fait de séparer les émetteurs brouilleurs et les récepteurs brouillés peut réduire le niveau des brouillages reçus par les récepteurs.

6.9.2.2 Accroître la qualité de fonctionnement de l'antenne

L'amélioration de la qualité de fonctionnement de l'antenne peut réduire les brouillages dans d'autres directions ainsi que les brouillages causés à d'autres cellules. Les techniques ci-après peuvent tout particulièrement améliorer la qualité de fonctionnement des antennes:

- suppression des lobes latéraux;
- amélioration du rapport entre les lobes avant et les lobes arrière;
- modelage du diagramme d'antenne (APS).

Le fait d'utiliser conjointement une antenne équidirective pour la station de base et une antenne à faisceau étroit pour l'unité d'abonné permet à des systèmes P-MP de couvrir efficacement l'ensemble de la zone de service. L'antenne de l'unité d'abonné est conçue pour avoir un faisceau d'une étroitesse telle que la plupart des signaux réfléchis sont supprimés, à l'exception de ceux provenant des réflecteurs, tels que les bâtiments situés à proximité de la station de base.

Le modelage du diagramme de l'antenne, au moyen d'un matériau absorbant les ondes radioélectriques, est une solution simple et économique pour ce type de brouillage. Il a lieu lorsque le matériau absorbant les ondes radioélectriques est fixé au radôme de l'antenne de la station de base, de telle sorte que l'intensité du signal vers les réflecteurs est supprimée, ce qui réduit par là même l'intensité des signaux réfléchis en direction de l'unité d'abonné.

L'angle de suppression est adapté avec souplesse en fonction de l'emplacement du réflecteur.

Un exemple de l'effet de cette technique est présenté sur la Fig. 8. Sans l'utilisation de la technique APS (Fig. 8 a), le signal réfléchi se situe à une distance de 300 m sur le trajet. Grâce à l'utilisation de la technique APS (Fig. 8 b), le signal réfléchi est supprimé au-dessous du niveau de bruit.

6.9.2.5 Commande de puissance

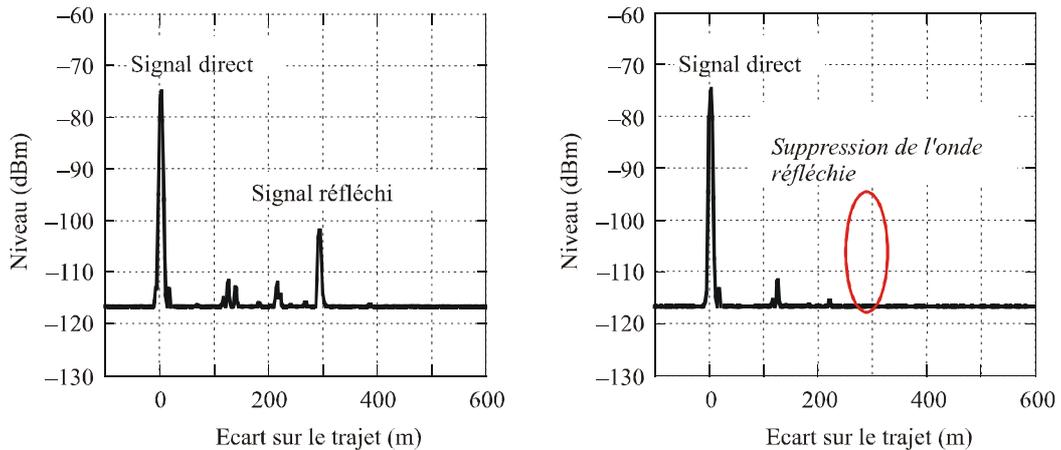
La puissance d'émission est une ressource importante des systèmes AHLB. En ce qui concerne la limitation des brouillages, la commande de puissance, en particulier la commande automatique de la puissance de l'émetteur (CAPE), est particulièrement utile dans la mesure où elle permet d'économiser la puissance et de réduire le niveau de brouillage à l'intérieur de la cellule.

6.9.2.6 Détection multi-utilisateur dans un système AMRC

Dans un système AMRC, les techniques de détection multi-utilisateur (MUD) peuvent limiter efficacement les brouillages intersymboles (ISI) et les brouillages liés à l'accès multiple. L'un des problèmes que pose la détection multi-utilisateur réside dans la complexité des calculs.

FIGURE 8

Exemple de l'effet de la technique APS



a) Sans la technique APS

b) Avec la technique APS

Rap 2086-08

6.9.2.7 Amélioration du filtrage de l'émetteur ou du récepteur

L'amélioration du filtrage peut réduire les émissions hors bande du signal brouilleur rayonnées par l'émetteur et réduire également le brouillage dans la bande subi par le récepteur.

6.9.2.8 Modulation et codage adaptatifs

La modulation et le codage adaptatifs permettent de faire des compromis entre le niveau de brouillage et l'efficacité.

6.9.3 Application des techniques de limitation des brouillages

TABLEAU 4

Application des techniques de limitation des brouillages

Technique de limitation des brouillages	Brouillage		
	Dans la cellule	Entre les cellules	Entre les systèmes
Positionnement de l'emplacement		√	√
Amélioration de la qualité de fonctionnement de l'antenne	√	√	√
Isolation par polarisation		√	
Synchronisation	√	√	
Commande de puissance	√	√	√
MUD dans un système AMRC	√ ⁽¹⁾	√ ⁽¹⁾	
Amélioration du filtrage de l'émetteur/du récepteur		√	√
Modulation et codage adaptatifs	√	√	√

⁽¹⁾ Applicable uniquement à un système AMRC.

6.10 Prise en charge de nouvelles technologies

Les technologies ci-après améliorent la qualité de fonctionnement des systèmes AHLB du service fixe. On trouvera dans le Rapport UIT-R F.2047 de plus amples informations sur ces technologies et sur d'autres techniques.

– Nouvelle amélioration de l'efficacité d'utilisation du spectre

De nouvelles applications à large bande sont possibles grâce à une technique évoluée de modulation multi-état ou à la technique MIMO. En outre, le modelage du spectre et le recours à une polarisation double contribuent également à améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre.

– Convergence avec d'autres systèmes hertziens et systèmes filaires

Le service large bande est fourni non seulement par un système AHF, mais également par d'autres systèmes hertziens (système à satellites et système mobile). De plus, un système filaire peut également fournir un service à large bande. La transparence du service fourni sur l'ensemble de ces différents réseaux améliore très nettement le confort d'utilisation.

– Systèmes fonctionnant dans plusieurs bandes de fréquences

Il existe une grande diversité de conditions d'exploitation (trajet de la propagation, trafic, etc.). La sélection du système le mieux adapté à la bande de fréquences permet toujours d'obtenir la meilleure connexion.

– Systèmes d'antennes adaptatives (AAS)

Les systèmes AAS désignent des antennes-réseaux avec traitement du signal associé, capables de changer leur diagramme de rayonnement de façon dynamique pour s'adapter au bruit, au brouillage et à la propagation par trajets multiples. Ces antennes-réseaux adaptatives forment un nombre infini de diagrammes (en fonction d'un scénario) qui sont adaptés en temps réel. Cela signifie que, à l'émission, le signal ne peut être dirigé que vers le récepteur à la façon d'un faisceau. Inversement, à la réception, les systèmes AAS peuvent être pointés uniquement dans la direction du signal utile. L'avantage que présente l'utilisation d'un système d'antennes adaptatives est que celui-ci peut réduire le brouillage effectif à l'intérieur d'une cellule en concentrant l'énergie entre la station de base et les abonnés actifs. La neutralisation des brouillages provenant d'autres sources peut donc accroître la capacité à l'intérieur de la cellule. Les systèmes AAS ont également la capacité de supprimer les brouillages sur un même canal en provenance d'autres sites. Ces caractéristiques permettent une utilisation du spectre plus efficace.

– Fonction radioélectrique définie par logiciel (SDR, *software defined radio*)

Définition: Fonction radioélectrique dont les paramètres d'exploitation, notamment la gamme de fréquences, le type de modulation ou la puissance en sortie, peuvent être fixés ou modifiés par logiciel; technique au moyen de laquelle ce résultat est obtenu.

NOTE 1 – La SDR exclut les modifications qui sont apportées aux paramètres d'exploitation pendant la préinstallation et l'exploitation prédéfinie d'une fonction radioélectrique conformément aux spécifications du système ou à une norme.

NOTE 2 – La SDR est une technique de mise en œuvre applicable à de nombreuses technologies radioélectriques et normes en la matière.

NOTE 3 – Dans le service mobile, les techniques SDR s'appliquent aussi bien aux émetteurs qu'aux récepteurs.

– Modulation adaptative

La modulation adaptative et le codage adaptent le débit de l'utilisateur en fonction des conditions d'exploitation dans le canal (par exemple, rapport SINR, fréquence des évanouissements, etc.). Le nombre des niveaux de modulation est modifié dynamiquement.

– **MROF**

Le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (MROF) est une technique de multiplexage consistant à subdiviser la largeur de bande du canal en plusieurs sous-porteuses qui sont orthogonales les unes par rapport aux autres dans le domaine fréquentiel. Le flux de données entrant est ensuite divisé en plusieurs sous-flux parallèles ayant chacun un débit réduit (et donc une durée de symbole accrue), chaque sous-flux étant alors modulé et transmis sur une sous-porteuse orthogonale indépendante. La MROF répartit les données sur un grand nombre de porteuses qui sont espacées à des fréquences précises. C'est cet espacement qui assure l'«orthogonalité» propre à cette technique et qui empêche les démodulateurs de traiter des fréquences autres que la leur. Généralement, les derniers échantillons d'un paquet de données du flux de données sont joints, sous forme d'une répétition, au début de la charge utile des données formant ce que l'on appelle un préfixe cyclique. Le préfixe cyclique peut éliminer intégralement l'ISI à condition que sa durée soit supérieure à l'étalement du temps de propagation du canal. Le multiplexage MROF tire parti de la diversité de fréquence liée à la propagation par trajets multiples dans le canal en procédant au codage et à l'entrelacement des informations sur l'ensemble des sous-porteuses avant leur transmission. Cette technique de modulation peut être appliquée au moyen d'une transformée rapide de Fourier inverse, qui permet d'obtenir un grand nombre de sous-porteuses avec moins de complexité. Les avantages du multiplexage MROF sont les suivants: grande efficacité d'utilisation du spectre, résistance au brouillage RF, tolérance accrue à l'étalement du temps de propagation et réduction de la distorsion due à la propagation par trajets multiples, ce qui fait de cette technique une solution intéressante pour les fréquences radioélectriques au-dessous de 10 GHz.

– **AMROF**

L'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence (AMROF) est une technique d'accès multiple pour les systèmes MROF. Elle permet à plusieurs utilisateurs d'émettre ou de recevoir simultanément un symbole MROF sur les différentes sous-porteuses. Elle permet, de plus, le regroupement des sous-porteuses MROF en sous-canaux et l'attribution d'un ou de plusieurs sous-canaux à différents abonnés. Pour chaque sous-canal, il est possible d'utiliser des techniques et des paramètres différents (techniques de modulation, taux de codage, niveaux de puissance, mécanismes de modelage des faisceaux, prise en charge des entrées et des sorties MIMO, etc.). Les principaux avantages de l'accès AMROF sont la modularité, la granularité et la performance de la capacité.

– **Utilisation des bandes de fréquences au-dessus de 57 GHz**

Les systèmes AHF utilisant des fréquences au-dessus de 57 GHz et des systèmes optiques en espace libre pourront fournir de nouvelles applications à large bande.

Annexe 1

Exemple d'une application AHLB particulière

1 Introduction

L'objet de la présente Annexe est de présenter une illustration des aspects techniques de l'application AHLB évoquée au § 6.6.6. Ce système AHLB, qui se compose d'applications fixes, mobiles et nomades, y compris de réseaux RLAN, fournit globalement un service d'accès hertzien transparent et intégré. Il est déjà en service dans les trains assurant la liaison de 58 km entre Tokyo et Tsukuba.

2 Description du service et configuration du système

Ce service est destiné à fournir un accès AHLB à haut débit aux passagers voyageant dans ces trains. Dans les lieux publics, les utilisateurs de terminaux hertziens se connectent généralement à l'Internet à l'aide d'un système de téléphone personnel (PHS, *personal handyphone system*) ou d'un système cellulaire. Le débit qu'il est possible d'obtenir avec ce type de connexion est actuellement limité à 300 kbit/s environ en raison de la capacité de ces systèmes. Afin d'offrir des services à large bande (en Mbit/s) aux passagers de ces trains, on a mis au point un système AHLB particulier utilisant des connexions intégralement hertziennes.

L'ensemble de ce service à large bande comprend trois types de connexions hertziennes: à savoir une connexion fixe, une connexion nomade et une connexion mobile (voir la Fig. 9).

Connexions AHLB fixes:

- connexion entre les points d'accès installés dans chaque compartiment (liaison A sur la Fig. 9);
- liaison de raccordement entre les points d'accès intermédiaires installés le long de la voie ferrée (liaison B sur la Fig. 9).

Connexions AHLB nomades:

- Points d'accès ponctuels déployés dans un espace clos, par exemple dans les compartiments du train ou à l'intérieur de la gare (zones de couverture C1 et C2 sur la Fig. 9).

Connexion AHLB mobile:

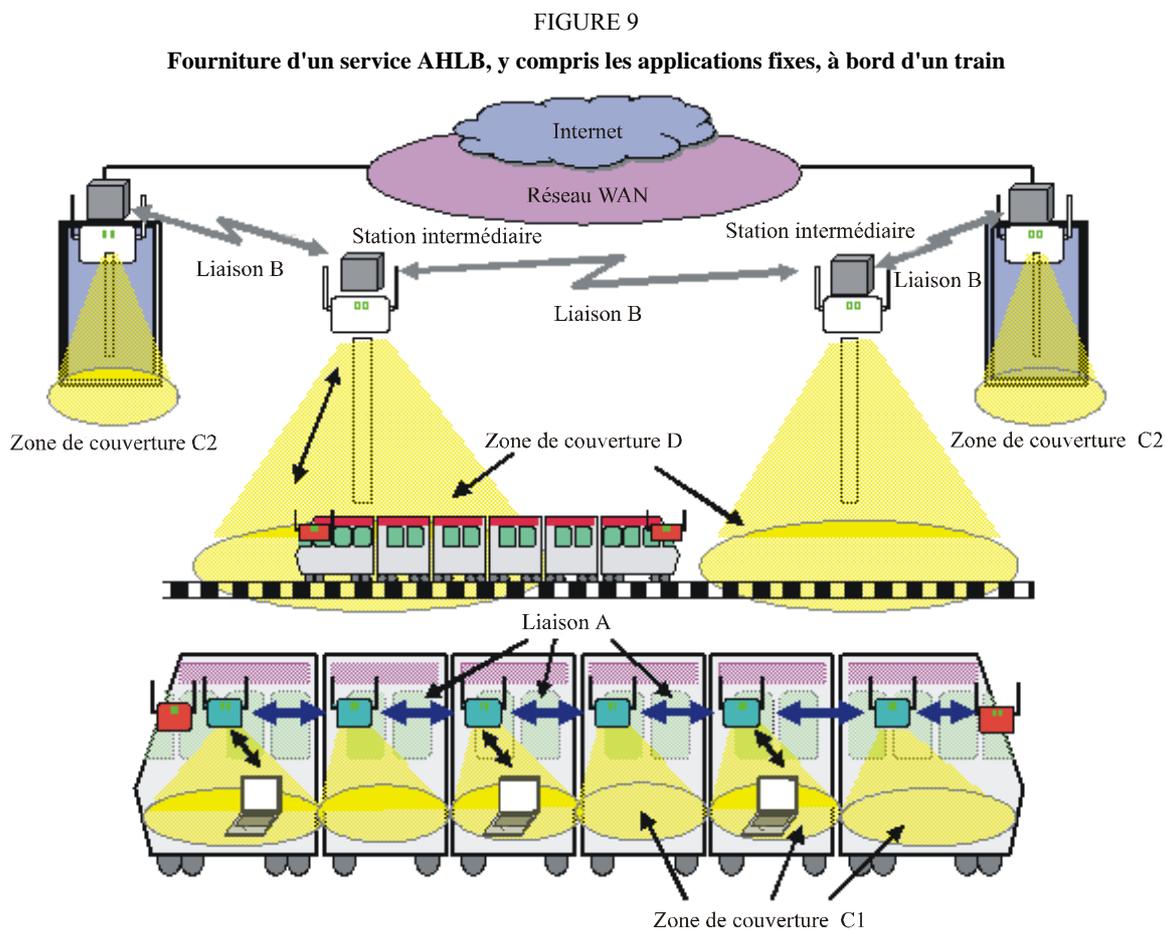
- Points d'accès installés en extérieur pour assurer la couverture pendant que le train circule sur la voie (zone de couverture D sur la Fig. 9).

Les connexions fixes, considérées comme applications principales dans le cadre du présent Rapport, sont particulièrement utiles lorsqu'une infrastructure filaire n'est pas disponible le long des voies ou à bord du train.

Les liaisons AHLB connectant les points d'accès (liaison A) pourraient être déployées sur l'ensemble du train. Etant donné que cette connexion doit seulement traverser des parois ou des vitres séparant les compartiments, la fréquence ne devrait pas être très élevée (par exemple, moins de 6 GHz). La capacité de transmission devrait suffire à acheminer tout le trafic à bord du train, qui est relié au réseau étendu (WAN) grâce à la connexion AHLB mobile.

Les liaisons de raccordement point à point entre des points d'accès intermédiaires (liaison B) pourraient fonctionner en LoS. Elles peuvent également offrir des solutions hertziennes rapides et économiques en l'absence d'une infrastructure filaire. La capacité de transmission devrait prendre en charge la totalité du trafic généré simultanément par plusieurs trains entre les stations.

Les points d'accès intermédiaires sont équipés d'une connexion fixe et d'une connexion nomade ou mobile.



Rap 2086-09

Comme indiqué sur la Fig. 9, des points d'accès Wi-Fi, installés dans chaque compartiment du train, permettent aux passagers d'obtenir une connexion hertzienne à partir de leur terminal. Un système générique 802.11b (2,4 GHz) est utilisé pour assurer la connexion des utilisateurs finals, étant donné que les terminaux (par exemple, ordinateur portable, assistant personnel numérique, téléphone Wi-Fi, etc.) sont généralement équipés d'un dispositif Wi-Fi intégré. Il est possible de se connecter à un point d'accès dans chaque compartiment en utilisant la fréquence à 5 GHz. Lorsque le train circule à l'intérieur de la zone de couverture D indiquée sur la Fig. 9, la connexion hertzienne à large bande est maintenue au moyen d'un système 802.11g (2,4 GHz). Lorsqu'il passe d'une zone de couverture D à une autre zone du même type, le train déclenchera une procédure de transfert afin de conserver la connexion au moyen d'une technique IP mobile. Le routeur mobile installé à bord du train coopère avec un agent local ou étranger et assure un transfert transparent à l'intérieur du train, qui circule à 130 km/h en vitesse de pointe. Les stations intermédiaires sont connectées par des systèmes hertziens fixes point à point (liaison B) via la bande des 25 GHz.

Après s'être connectés au point d'accès Wi-Fi installé dans la gare et avoir été authentifiés par le réseau au moyen de leur nom d'utilisateur et de leur mot de passe, les voyageurs pourront accéder à l'Internet. Une fois à bord du train, ils bénéficieront d'un service de connexion hertzienne à l'Internet sans devoir modifier la configuration de leur terminal, ni procéder à une autre manipulation (zone de couverture C1). A l'arrivée, lorsqu'ils descendent du train, les voyageurs pourront rester connectés grâce aux dispositifs installés dans la gare (zone de couverture C2).

3 Paramètres de base du système

Le système comporte trois types de connexions hertziennes, comme indiqué sur la Fig. 9. Ses paramètres de base sont les suivants:

- Connexions AHLB fixes (liaisons A et B sur la Fig. 9).

	Liaison A	Liaison B
Bande de fréquences	5 GHz	25 GHz ⁽¹⁾
Puissance d'émission en sortie	15 dBm	0 dBm
Largeur de bande du canal	18 MHz	26 MHz
Espacement des canaux	20 MHz	20 MHz
Type d'antenne (gain)	Equidirective (2,6 dBi) Directive (7 dBi)	Directive (31,5 dBi)

⁽¹⁾ Bande non assujettie à l'octroi d'une licence au Japon.

- Connexions AHLB nomades (zones de couverture C1 et C2 sur la Fig. 9)

Bande de fréquences	2,4 GHz
Puissance d'émission en sortie	20 dBm
Largeur de bande du canal	18 MHz
Espacement des canaux	5 MHz
Type d'antenne (gain)	Equidirective (2,1 dBi)

- Connexion AHLB mobile (zone de couverture D sur la Fig. 9)

Bande de fréquences	2,4 GHz
Puissance d'émission en sortie	15 dBm
Largeur de bande du canal	18 MHz
Espacement des canaux	5 MHz
Type d'antenne (gain)	Equidirective (6-19 dBi)

4 Connexions AHLB fixes

4.1 Connexion entre les points d'accès à bord du train

La liaison A indiquée sur la Fig. 9 doit fonctionner en NLoS: en effet, l'équipement est installé dans la partie supérieure du compartiment pour empêcher que les passagers ne fassent obstacle et, de plus, les parois entre les compartiments font obstruction. Par conséquent, la fréquence ne devrait pas être très élevée, compte tenu des caractéristiques de propagation. Dans le cas du système considéré, la bande des 5 GHz est utilisée pour la liaison A. En raison des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples qui sont une conséquence des oscillations du train et des mouvements des passagers, le point d'accès est équipé d'une double antenne à diversité spatiale pour résoudre ce problème.

4.2 Liaisons de raccordement entre les stations intermédiaires

Le système doit comporter des stations intermédiaires pour couvrir l'ensemble de la zone le long de la voie ferrée. Les stations intermédiaires devraient être espacées de 1 à 2 km, étant donné que le rayon de la zone de couverture D est limité à 1 km. Pour les mettre en place rapidement et de façon économique, il est indispensable d'utiliser des systèmes hertziens fixes et non un réseau à fibres optiques pour établir les liaisons de raccordement. De plus, la liaison devra avoir une forte capacité pour transmettre le trafic généré par plusieurs trains circulant dans la zone de couverture. Un système point à point à 25 GHz avec une capacité maximum de 80 Mbit/s est utilisé pour les liaisons de raccordement. Des antennes directives sont installées sur le toit de bâtiments ou en haut de pylônes électriques afin de maintenir la LoS. Dans le cas du Tsukuba Express, 20 stations et 30 stations intermédiaires jalonnent la voie ferrée de 58 km pour couvrir l'ensemble de la zone.

5 Connexion à un réseau WAN

La totalité du trafic généré à l'intérieur de chaque gare et à bord du train est acheminé au moyen de fibres optiques. Deux passerelles intermédiaires permettent de basculer le trafic à large bande sur un réseau WAN pour assurer la connectivité Internet.
