

RECOMMANDATION UIT-R F.1244*

RÉSEAUX LOCAUX HERTZIENS (RLAN)

(Question UIT-R 142/9)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les réseaux locaux hertziens (RLAN) sont appelés à être largement utilisés pour les applications faisant intervenir des équipements informatiques transportables ou fixes et pour divers services à large bande (par exemple, distribution vidéo);
- b) que les normes applicables à ce type de réseau peuvent être compatibles avec celles qui ont été définies pour les réseaux locaux filaires;
- c) qu'il est souhaitable d'établir des directives d'utilisation des RLAN dans diverses bandes de fréquences;
- d) que de telles directives ne devraient pas limiter le potentiel des RLAN mais servir au contraire à favoriser leur développement;
- e) que pour l'utilisation des RLAN, il y a lieu de considérer avec attention les problèmes de compatibilité (brouillages) avec les autres systèmes radioélectriques;
- f) que les études menées à l'UIT-R sur les RLAN devraient tenir dûment compte des travaux correspondants de l'UIT-T,

recommande

- 1** de s'appuyer à titre d'orientation sur les caractéristiques des RLAN décrites dans l'Annexe 1;
- 2** de se référer au Tableau 1 établi à titre indicatif, pour ce qui est des bandes de fréquences proposées pour les RLAN, et des débits binaires approximatifs correspondant.

TABLEAU 1

(Note 1)

| Fréquence | Bandes de fréquences | Débits de données approximatifs |
|--|--|---------------------------------|
| Ondes décimétriques (300-3 000 MHz) | 900 MHz 1 900 MHz 2 400 MHz | Jusqu'à 6 Mbit/s |
| Ondes centimétriques (3-30 GHz) | 5,2 GHz 5,7-5,8 GHz 17,2 GHz 18,8 GHz 19,5 GHz | Jusqu'à 50 Mbit/s |
| Ondes millimétriques (30-300 GHz) | 60 GHz (Note 2) | A l'étude |

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 7 et 13 de la normalisation des télécommunications (Groupe mixte sur la GII) et des Commissions d'études 3 (GT 3K), 4 (GT 4A), 8 (GT 8A) et 11 (GT 11C) des radiocommunications.

2

Rec. UIT-R F.1244

3

à titre indicatif pour certains types d'accès multiple et de modulation proposés, se référer au Tableau 2;

TABLEAU 2

(Notes 3 et 4)

| Fréquence | Accès multiple | Modulation |
|----------------------|--|--------------------------------|
| Ondes décimétriques | AMRF, AMRT, AMRC (Étalement du spectre en séquence directe ou par sauts de fréquence) | MDF, MDP-4 |
| Ondes centimétriques | AMRF AMRT AMRC | MDF MDMG MDP-4 MAQ-16 |
| Ondes millimétriques | A l'étude | A l'étude |

4

d'étudier plus avant la topologie des RLAN. Deux topologies de base sont illustrées par les Fig. 1 et 2:

- systèmes non centralisés ou sans nœud principal;
- systèmes centralisés;

5

à titre indicatif pour ce qui est des exigences de qualité de fonctionnement des RLAN, se référer au § 2.4 de l'Annexe 1;

6

de faire en sorte que tout RLAN partageant une bande de fréquences avec d'autres systèmes du service fixe ou d'autres services radioélectriques respecte certaines caractéristiques techniques rendant un tel partage possible (Note 5);

7

de se référer également au projet de Recommandation [UIT-R M.Doc. 8/60], où l'on trouvera un complément d'information sur les normes applicables aux équipements radioélectriques de RLAN.

NOTE 1 – L'utilisation d'autres bandes de fréquences n'est pas exclue. Les fréquences disponibles pour les RLAN peuvent différer d'un pays à l'autre.

NOTE 2 – La mise au point de RLAN fonctionnant en ondes millimétriques est à l'étude (voir l'Appendice 3 de l'Annexe 1).

NOTE 3 – Des exemples de RLAN types fonctionnant dans chaque bande de fréquences sont fournis au Tableau 3.

NOTE 4 – Il a été suggéré d'utiliser des techniques duplex à répartition dans le temps pour simplifier les configurations.

NOTE 5 – Le problème de la susceptibilité aux brouillages est traité dans le § 2.5 de l'Annexe 1.

ANNEXE 1

Réseaux locaux hertziens (RLAN)

1

Introduction

Les réseaux locaux (LAN) sont en général des réseaux d'entreprise exploités, par exemple, dans un groupe de locaux ou sur un campus de superficie réduite. Les LAN ont été conçus au départ dans le cadre de l'interconnexion d'ordinateurs ou d'applications de partage de ressources informatiques. A l'inverse des réseaux à commutation de circuits, les LAN sont particulièrement bien adaptés lorsqu'il s'agit d'assurer avec efficacité l'écoulement du trafic très irrégulier typique des systèmes informatiques.

Un grand nombre de contraintes inhérentes aux LAN à câbles - coût, maintenance, installation - ne sont plus un problème dès lors que l'on fait intervenir avec discernement les techniques radioélectriques modernes. Par exemple, des architectures à microcellules hertziennes combinées à des techniques de modulation très adaptables permettent d'envisager des réseaux locaux hertziens (RLAN) dans lesquels les cellules sont reliées au réseau soit par l'intermédiaire de liaisons par câbles soit par d'autres moyens radioélectriques.

L'un des avantages des RLAN – que n'offrent pas les LAN par câbles – est que les utilisateurs sont tout à fait indépendants et en principe libres de se connecter au réseau ou de se déconnecter ou encore de se déplacer dans le réseau et entre réseaux.

Ces moyens de communication libres ou encore «sans attache» permettent notamment d'envisager l'établissement de liaisons privées, sur place, non couvertes par les traditionnelles définitions des communications fixes ou mobiles. Les utilisateurs sans attache ne sont donc pas liés à un imposant ordinateur personnel de bureau. Ils peuvent emporter avec eux leur petit ordinateur personnel ou agenda électronique, dans tous les coins et recoins de l'organisation, et même à l'extérieur, tout en conservant la possibilité de se raccorder aux autres systèmes du réseau local et de les exploiter. A l'avenir, ces systèmes de communication sans attache pourraient bien être à l'origine d'une remise en question de ces deux notions bien établies que sont les communications fixes et les communications mobiles.

Citons, à titre d'exemple, certaines caractéristiques générales que l'on peut trouver dans un RLAN:

- compatibilité avec les réseaux locaux câblés au niveau des débits de données, des protocoles, des normes et des caractéristiques de fonctionnement;
- compatibilité avec les applications portables (petits équipements de faible puissance) et, au besoin, capacité de transfert d'un réseau à l'autre;
- compatibilité avec les débits de communication extrêmement élevés typiques des liaisons établis entre ordinateurs;
- enfin, possibilité d'envisager des applications dans lesquelles le temps de transport des données est critique (par exemple, communications vocales et vidéo, notamment vidéoconférences).

En fonction de l'application, on devra prévoir une très large gamme de débits de données (jusqu'à plus de 100 Mbit/s).

Les RLAN peuvent être utilisés à l'intérieur ou à l'extérieur, ou en combinaison, mais les problèmes de brouillage peuvent différer d'une configuration à l'autre. Dans certains cas, il pourra être nécessaire de confiner l'utilisation à l'intérieur des bâtiments afin de respecter les critères locaux de partage des fréquences.

Dans les applications internes des RLAN, il faut tenir compte de certaines conditions de propagation à l'intérieur des bâtiments (qui ne sont pas toujours bien connues). Le fonctionnement des liaisons radioélectriques dépend de certains facteurs tels que la dimension des bâtiments et les matériaux de construction utilisés, ... effet des bâtiments adjacents (par les fenêtres), répartition des meubles de bureau par rapport aux trajets radioélectriques, enfin variations dynamiques de la géométrie des trajets.

D'autres études seront nécessaires pour mieux caractériser les conditions de propagation applicables aux RLAN.

2 Caractéristiques des RLAN

Un certain nombre de technologies sont applicables aux RLAN, et le choix en l'occurrence dépend des impératifs de la configuration considérée: architecture du système, bandes de fréquences, débit de transmission, taux d'erreur, sécurité, tolérance aux brouillages.

2.1 Modulation, codage et diversité

Pour les applications de RLAN, les équipements de radiocommunication doivent offrir d'excellentes performances à un faible coût. La plupart des services de données assurés sur ce type de réseau imposent le maintien de taux d'erreur binaires très faibles, par exemple compris entre 1×10^{-5} et 1×10^{-10} , surtout lorsque les services offerts sur le RLAN font concurrence (ou sont raccordés) à des systèmes à fibres ou des systèmes à câbles, qui actuellement offrent des taux d'erreur inférieurs à 1×10^{-10} .

Le taux d'erreur peut être amélioré au moyen de techniques de diversité (espace, temps, fréquence, polarisation ou autres variables) et de codage de correction d'erreur qui permettent d'envisager des taux d'erreur binaire pouvant atteindre 1×10^{-14} . Toutefois, dans la spécification de tels systèmes, il y a lieu de prêter une grande attention au compromis entre coût et qualité de fonctionnement. Les systèmes de signalisation tolérants en matière de bruit de phase et d'erreur de fréquence sont en général les plus indiqués, puisqu'ils permettent d'utiliser des oscillateurs et des synthétiseurs de fréquence peu onéreux.

Les applications actuelles imposent certains débits de données au niveau de l'interface de service, notamment en ce qui concerne la connectivité RNIS (réseau numérique avec intégration des services). Mais la prise en compte des applications existantes ne doit pas limiter l'évolution des normes applicables aux RLAN, les nouvelles applications en projet pouvant en l'occurrence déboucher sur de nouveaux domaines d'utilisation.

Dans le cas du RNIS, il est actuellement difficile de concevoir un RNIS à large bande (RNIS-LB) (au débit primaire de 155,52 Mbit/s ou à une valeur supérieure) sur un réseau intérieur. En une première étape, on pourra envisager de proposer des valeurs multiples du débit de base RNIS (144 kbit/s) ou du débit DS-1 (1,544 Mbit/s) sur de courtes liaisons radioélectriques établies avec les interfaces du réseau central. Ici, la conversion au débit RNIS-LB peut intervenir avant la transmission sur le réseau central qui peut être par exemple, à fibres optiques ou radioélectrique avec visibilité directe. De tels services à sous-débit peuvent ainsi être assurés à diverses fréquences. Le choix du système de signalisation dépendra en l'occurrence de la fréquence en raison des différences de caractéristiques de propagation, de coûts des composants et de disponibilité des fréquences.

Les bandes décimétriques disponibles sont de plus en plus rares. En conséquence, les systèmes de signalisation devront offrir une grande efficacité d'utilisation du spectre, et tolérer les brouillages. Un accès multiple par répartition en code (AMRC) (séquence directe ou sauts de fréquences) avec déplacement de phase pourra être envisagé puisque un tel système répond à ces impératifs et que, par ailleurs, on peut lui ajouter une caractéristique de diversité. Des récepteurs bien conçus peuvent séparer les différentes composantes d'un signal propagé par trajets multiples. On peut alors obtenir une excellente diversité avec un petit nombre d'antennes (2, par exemple). Toutefois, ces systèmes posent un problème dans la mesure où il faut parfois recourir à des régulations de puissance pour éviter un verrouillage sur le signal le plus fort à la réception. En général, la commande de puissance impose un système de gestion physiquement centralisé qui peut être incompatible avec les configurations décentralisées souvent adoptées pour les RLAN. L'AMRC impose également un certain nombre de restrictions au niveau de la souplesse d'assignation des canaux, qui peut poser des problèmes lorsque l'on cherche à mettre au point un système pouvant être utilisé dans de nombreux pays sans reprogrammation (caractéristique très intéressante des systèmes de communication sans attache).

Par ailleurs, ces systèmes peuvent comporter un codage de correction d'erreur à convolution ou un code BCH, convenant parfaitement pour la correction des erreurs aléatoires. Pour faire face à la demande future de taux d'erreur très faibles tout en assurant une forte capacité dans des conditions d'évanouissements irréguliers, il faudra toutefois prévoir des codes plus puissants capables de corriger les erreurs en salves. On pourrait, par exemple, utiliser un système de codage en séquences avec code interne à convolution et code externe de type Reed-Solomon. Avec un tel système, le code interne à convolution corrigerait les erreurs aléatoires tandis que le code Reed-Solomon traiterait les erreurs en salves. Les codes à concaténation permettent d'obtenir des taux d'erreur très faibles dans des conditions de rapport signal/bruit médiocres, et donc de réduire la puissance d'émission des équipements, ainsi que les risques de brouillage et le coût du matériel. Par ailleurs, lorsqu'ils ne corrigent pas les erreurs de façon satisfaisante, ces codes peuvent toujours détecter les anomalies de codage avec une probabilité très élevée et l'on peut alors faire intervenir la diversité de trajet ou un reroutage sur un meilleur canal. Les systèmes de codage à concaténation sont particulièrement adaptés aux réseaux établis à l'intérieur des bâtiments. On sait qu'ils donnent d'excellents résultats dans des conditions d'évanouissement de Rice. Par ailleurs, d'autres systèmes de signalisation permettent d'obtenir des résultats comparables.

Pour les fréquences supérieures, les contraintes de conception peuvent être différentes de celles que l'on observe avec les ondes décimétriques. Il peut être nécessaire de faire appel à des systèmes de signalisation plus tolérants au niveau du bruit de phase et aux décalages de fréquences (en raison du coût actuel des bons oscillateurs stables). Il faut également s'accommoder de taux d'évanouissement plus élevés. On peut alors recourir à des systèmes de modulation nécessitant une largeur de bande plus importante mais offrant une plus grande stabilité et un plus faible taux d'erreur. Citons par exemple les systèmes à saut de fréquence d'ordre M et les techniques de traitement par cellules. Une fonction de diversité peut également être souhaitable. Lorsqu'on utilise un système à étalement de spectre, on peut envisager soit des systèmes à sauts de fréquences lents, soit des systèmes à séquence directe, selon l'application. On considère que les codes de type Reed-Solomon conviennent pour la détermination des séquences des sauts ainsi que pour la détection et la correction d'erreur, bien que d'autres solutions soient envisageables.

L'un des problèmes qui se posent dans la mise au point de certains RLAN intérieurs consiste à supprimer la nécessité de prévoir une conversion de débit au niveau des interfaces avec le réseau central (lorsque de telles interfaces existent). Dans le cas d'un RLAN raccordé à un RNIS-LB, ces interfaces peuvent être conçues pour accepter directement les débits du RNIS-LB, et offrir une qualité de fonctionnement analogue à celles que l'on peut obtenir avec des liaisons à fibres optiques. Le débit de données de 155,52 Mbit/s impose une importante largeur de bande à la transmission, et ces systèmes doivent donc être exploités dans les bandes de fréquences supérieures. Par ailleurs, en raison de la brièveté de la durée de transmission des symboles, ces valeurs de débit si élevées imposent une forte puissance d'émission permettant d'obtenir une énergie par bit suffisante pour des taux d'erreur acceptables.

Le choix du débit de données ainsi que de la technique d'accès multiple dépendra dans une large mesure de considérations techniques. Citons notamment le coût relatif de génération des porteuses aux ondes millimétriques (30-60 GHz) qui tend à s'inscrire à l'encontre de l'utilisation de l'accès multiple par répartition en fréquence (AMRF).

Dans un cas spécifique, un système AMRC sans commande de puissance, à faible gain d'étalement (dix fois) était moins efficace qu'un protocole basé sur l'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT).

Les résultats d'essais de simulation montrent qu'un système AMRT avec réservation, dans lequel les utilisateurs demandent des intervalles de transmission avant la transmission proprement dite, peut offrir un fonctionnement acceptable. Une certaine forme de réservation ou d'affectation adaptative des intervalles de temps est requise au niveau du protocole si l'on veut bénéficier des avantages offerts par la diversité des débits de données caractéristiques des terminaux multimédias et régler le problème des impératifs de temps de propagation.

Les systèmes à interrogation peuvent être intéressants du fait que le nombre de terminaux couverts par une seule cellule est en général peu élevé.

Pour simplifier la configuration matérielle, on peut également recourir à un duplexage par répartition dans le temps (DRT) plutôt qu'à un duplexage par répartition en fréquence (DRF). Dans le premier cas, une seule porteuse est nécessaire pour le trafic entrant et le trafic sortant. Une telle technique peut être intéressante dans le cas d'un trafic asymétrique, lorsque le trafic entrant ne représente qu'un faible pourcentage du trafic sortant.

A des débits de données élevés et dans des bandes de fréquences élevées, la dégradation due au brouillage entre symboles en présence de conditions de propagation par trajets multiples pose en général un problème relativement important, au point de nécessiter, pour un bon fonctionnement, un égalisateur adaptatif combiné à des techniques de codage et de diversité.

2.2 Exemples de RLAN

Un certain nombre de bandes de fréquences sont déjà utilisées ou envisagées pour les applications de RLAN, notamment les bandes réservées aux applications industrielles, scientifiques et médicales (ISM). Le Tableau 1 indique certains choix de bandes de fréquences possibles. Le Tableau 3 fournit par ailleurs des informations complémentaires concernant certaines bandes de fréquences typiquement utilisées pour les RLAN. On y mentionne également un exemple précis de norme en cours d'élaboration, à savoir la norme HIPERLAN, que l'ETSI (Institut européen des normes de télécommunication) élabore actuellement pour les RLAN à hautes performances exploités dans les bandes de fréquences comprises entre 5,2 et 17,2 GHz, norme qui sera conforme à la norme ISO 8802.

L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a déjà élaboré un certain nombre de normes applicables aux LAN, notamment la Norme IEEE 802.3 CSMA/CD, encore connue sous l'appellation Ethernet, la Norme IEEE 802.4 Token Bus, la Norme IEEE 802.5 Token Ring et la Norme IEEE 802.6 Metropolitan access media. Par ailleurs, l'Institut prépare actuellement la Norme IEEE 802.11 pour les réseaux locaux radioélectriques (WLAN) jusqu'à 2 Mbit/s, norme qui prévoit des fonctions combinées de commutateur privé et de LAN.

L'Appendice 1 porte sur les caractéristiques des applications des réseaux RLAN dans le cadre de la Norme IEEE 802.11/92-109.

L'Appendice 3 traite de certaines questions fondamentales qui se posent dans le cas des RLAN intérieurs dans la gamme de fréquences 20-60 GHz.

2.2.1 Systèmes de télécommunication sans cordon à caractéristiques RLAN

Il existe deux autres types de RLAN faisant appel à des systèmes initialement ou essentiellement prévus pour un service téléphonique sans cordon:

- le système DECT (téléphone numérique amélioré sans cordon) exploité en Europe dans la bande 1 880-1 900 MHz et associé à un réseau local sans cordon (CLAN) pouvant communiquer à des débits binaires allant jusqu'à 256 kbit/s. Il s'agit du système N° 5 de la Recommandation UIT-R M.1033, Annexe 1;
- le système PHS (système de téléphonie personnel), qui fonctionne dans la bande 1 895-1 918 MHz et a des applications RLAN dans les domaines de la bureautique et de l'automatisation des usines. Il s'agit du système N° 6 de la Recommandation UIT-R M.1033, Annexe 1.

2.2.2 Topologie des RLAN

On peut considérer au moins deux types de topologie de RLAN:

- réseau à commande centralisée,
- réseau à commande décentralisée.

Ces deux types de réseaux sont illustrés à la Fig. 1, tandis que des systèmes utilisant différentes configurations sont présentés dans la Fig. 2 (Fig. 2a à 2c).

TABLEAU 3

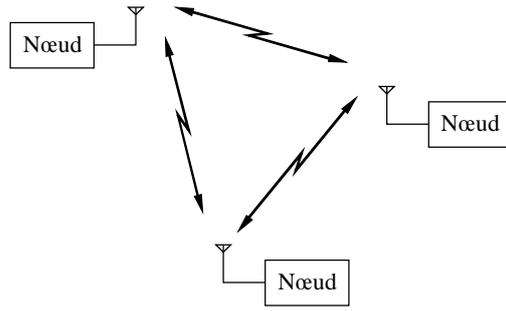
Exemples de caractéristiques de RLAN

| Bandes de fréquences | Système de modulation et/ou d'accès | Débit de données (typique) | Application | Portée ⁽¹⁾ (typique) |
|---|---|--|--|---|
| 403-470 MHz 806-869 MHz 946 MHz | MDF-4 | 19,2 kbit/s | Equipement d'abonné ARDIS ⁽²⁾ | Zone de service ARDIS |
| 850 MHz (cellulaire) | MDF | 14,4 kbit/s 9,6 kbit/s (télécopie) | Communications personnelles par téléphone cellulaire | Zone de service de téléphone cellulaire |
| 902-928 MHz | Sauts de fréquence (MDF) | 64-500 kbit/s | Réseaux de campus et réseaux privés, liaisons de données point à point | 4 km |
| | Séquence directe | 2 Mbit/s 215 kbit/s à 1,0 Mbit/s | LAN portables LAN Ethernet | 250 m 100-1 000 m |
| | Étalement du spectre AMRC/AMRT | Débit de ligne 1,536 Mbit/s | Réseaux de communication personnelle | 450-5 000 m ² |
| | Séquence directe avec sélection de canaux de 1,5 MHz | 60 kbit/s | Lecture de code-bar | 120-210 m |
| | Séquence directe, code en treillis MDP | 5,7 Mbit/s | LAN Ethernet (IEEE 802.3) | 80 m |
| 2,4-2,4835 GHz 2,4-2,485 GHz (émetteur-récepteur vers central) 5,745-5,830 GHz (central à émetteur-récepteur) | AMRC, séquence directe, sauts de fréquence Séquence directe, code en treillis MDP-16 | 1 Mbit/s (approximativement) 5,7 Mbit/s | – LAN Ethernet (IEEE 802.3) | – 80 m |
| 5,2 GHz | Modulation par déphasage minimal avec filtrage gaussien ($BT = 0,4$) | Débit de données brut: 24 Mbit/s | RLAN à hautes performances (HIPERLAN) | 50 m |
| 17,2 GHz | En cours de détermination | En cours de détermination | RLAN à hautes performances (HIPERLAN) | En cours de détermination |

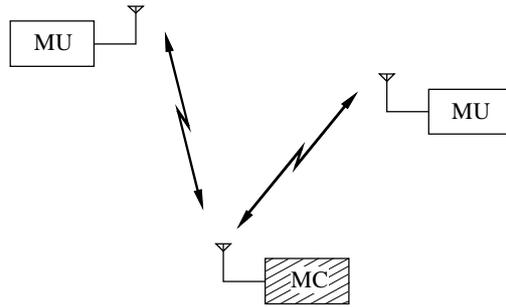
(1) La portée en exploitation d'un RLAN peut varier fortement en fonction du débit de données, de la fréquence, de la puissance d'émission, de l'antenne et des conditions de propagation.

(2) ARDIS: service radioélectrique d'information par communication de données à hautes performances.

FIGURE 1
Topologies RLAN



a) Système décentralisé

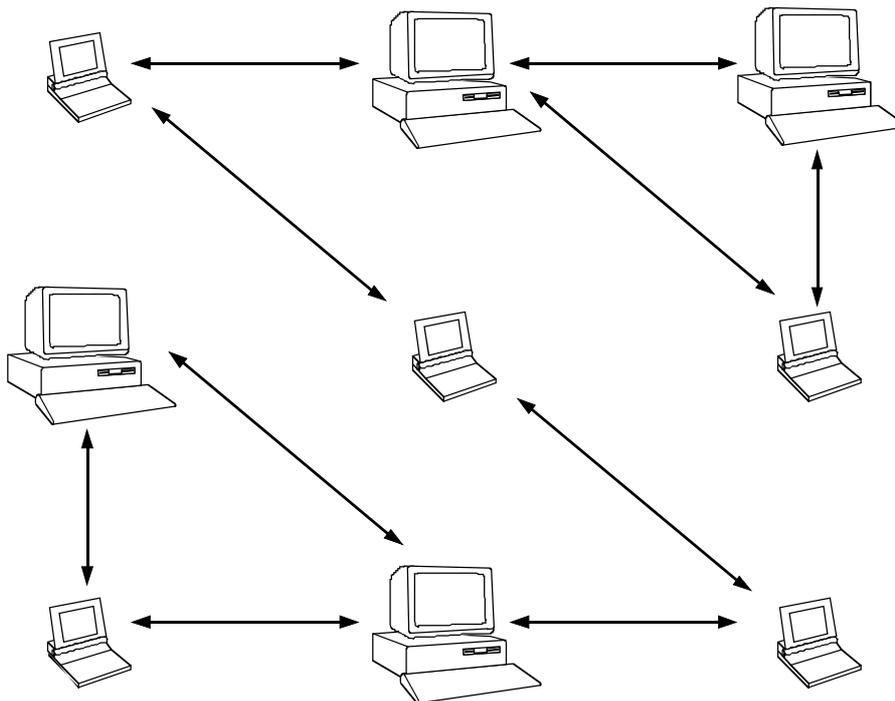


b) Système centralisé

MC: module de commande
MU: module d'utilisateur

1244-01

FIGURE 2a
Exemple de RLAN décentralisé ou sans nœud central



1244-02a

FIGURE 2b
Exemple de RLAN centralisé

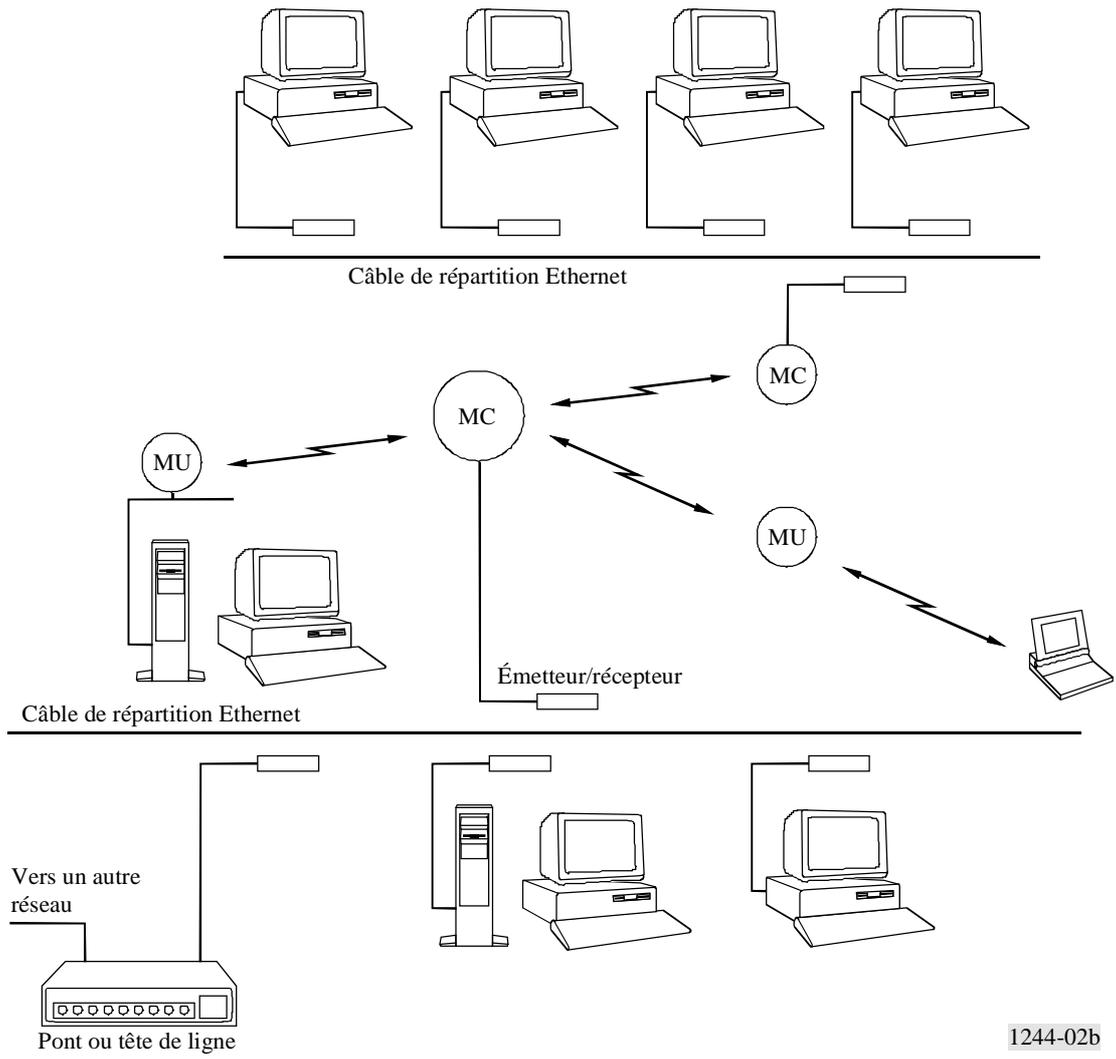
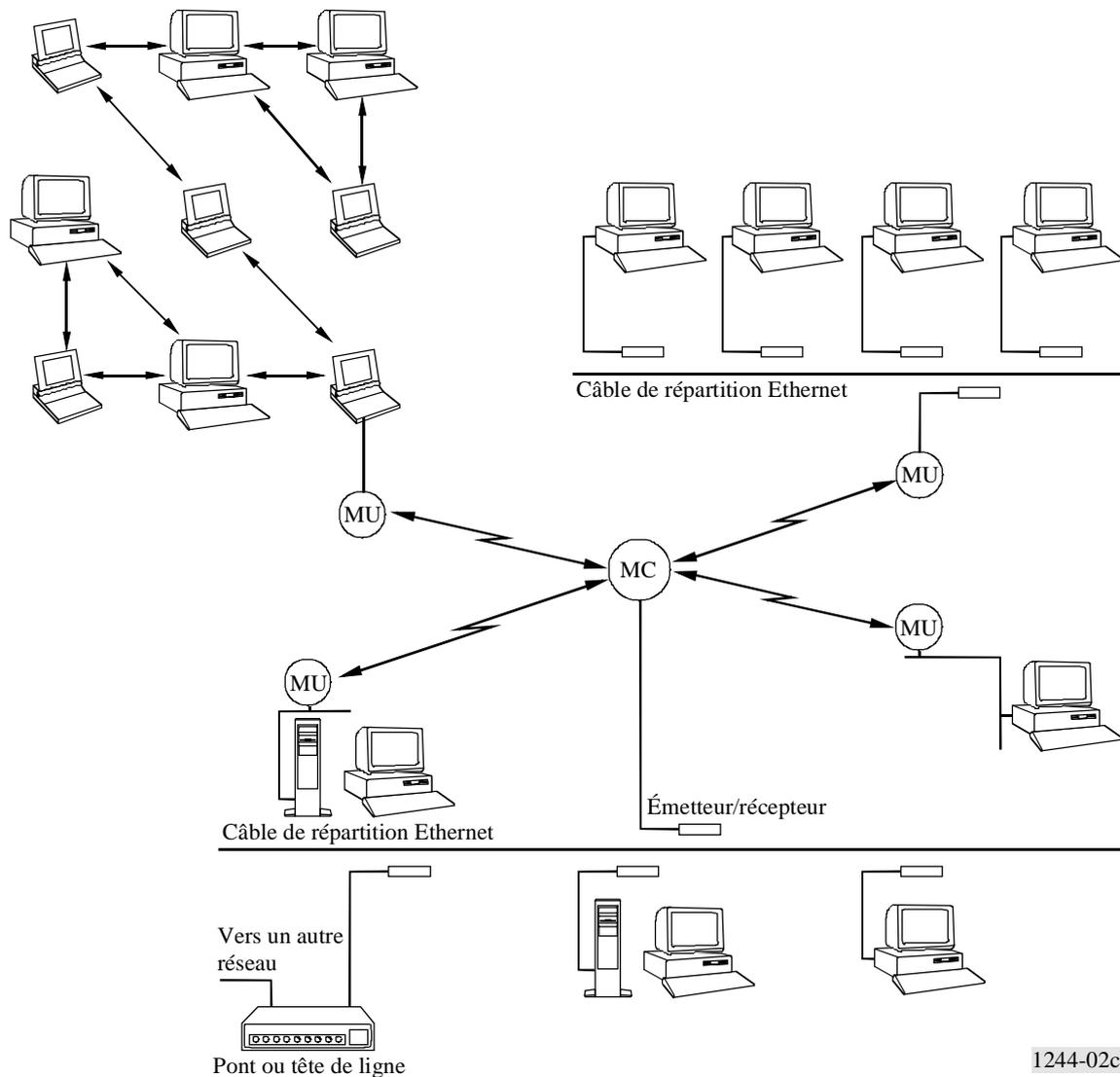


FIGURE 2c
Exemple de RLAN comportant une microcellule à gestion centralisée
et raccordée à un réseau sans nœud central

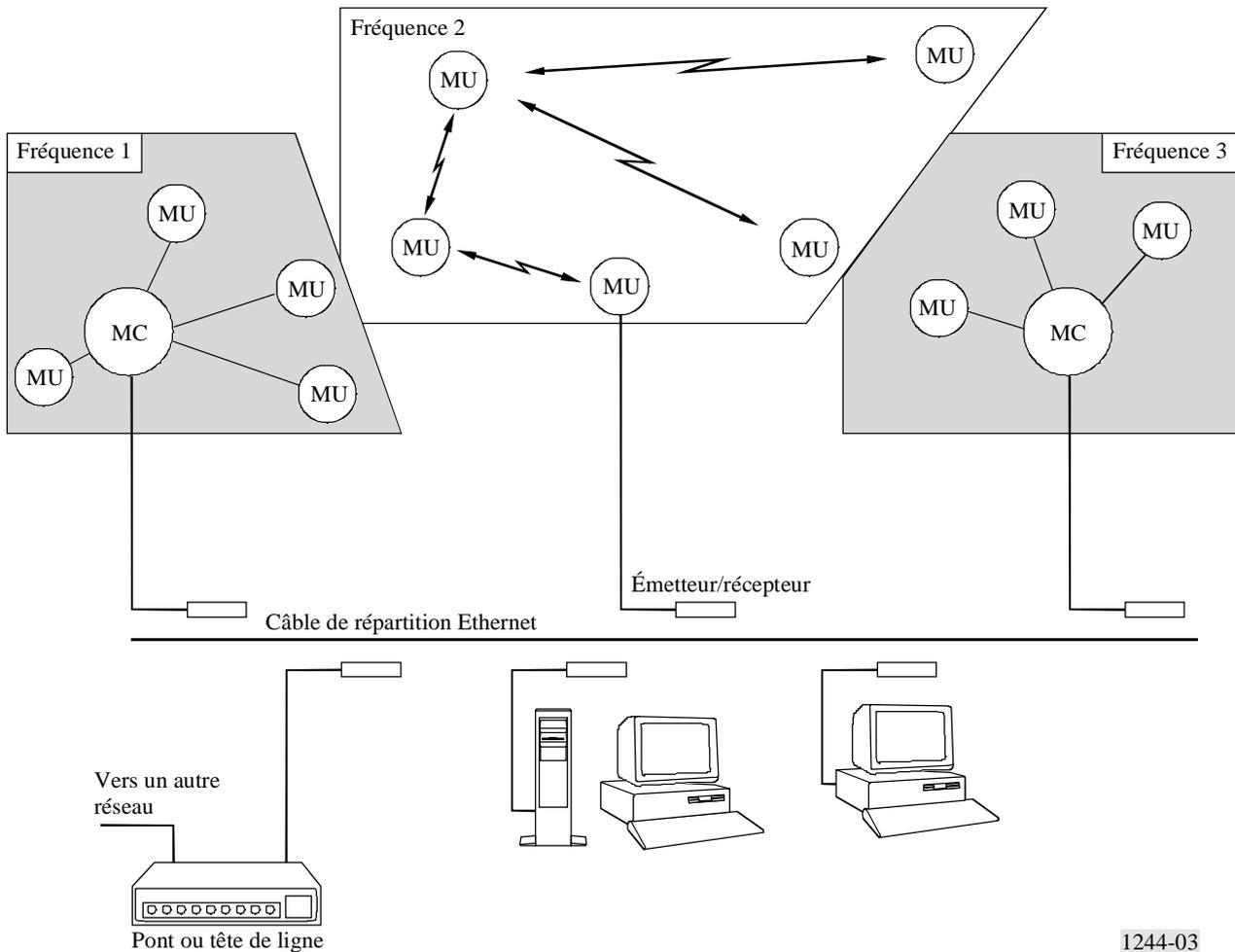


1244-02c

Le RLAN centralisé se compose de modules de commande (MC) et de modules d'utilisateur (MU). Les limites du réseau sont définies par les zones de couverture (appelées microcellules) des différents MC. La zone couverte par une microcellule dépend du nombre et du type des obstructions entre le MC considéré et les MU associés – elle est typiquement comprise entre 450 et 5 000 m². Les MU ne communiquent pas directement entre eux dans les systèmes décrits jusqu'ici, bien que rien ne s'oppose à ce que le MC attribue un circuit radioélectrique à un certain nombre de MU pour assurer une intercommunication directe, dans le cas par exemple d'une transmission point-multipoint limitée dans le temps. Le MC gère le flux d'informations entre MU, et entre MU et toute interface de réseau extérieure. Les MU sont en général placés sur les bureaux ou montés sur les cloisons, et raccordés aux équipements terminaux des utilisateurs finals. Un seul MU peut gérer plusieurs équipements de LAN (postes de travail sur ordinateur personnel, etc.).

Lorsque le nombre d'équipements de LAN requis est suffisamment important ou lorsque des microcellules multiples sont nécessaires pour des raisons d'exploitation, ces éléments peuvent être interconnectés par une liaison de communication. La Fig. 3 illustre une configuration de réseau à microcellules.

FIGURE 3
Exemple de configuration de microcellules



1244-03

Dans le cas d'un système AMRT non adaptatif, chaque microcellule du réseau doit exploiter une fréquence propre à moins que les MC ne soient séparés par des distances de réutilisation adéquates. En l'occurrence, la distance dépend de la puissance rayonnée, du nombre et du type d'obstructions de la méthode de modulation et de la qualité de fonctionnement requise.

On constate qu'un RLAN à commande centralisée repose nécessairement sur une infrastructure de MC, de telle sorte que deux MU qui sont à portée radioélectrique l'un de l'autre ne peuvent constituer un réseau que si l'un et l'autre peuvent accéder à un MC. Il en découle que la planification du réseau est nécessairement individuelle et qu'elle fait appel à deux catégories de modules, à savoir les MC et les MU.

Les RLAN à commande non centralisée offrent une autre solution. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de prévoir des MC spécialisés, ce qui donne les avantages suivants: fiabilité, planification individuelle du réseau non nécessaire, souplesse de configuration des réseaux logiques. Les utilisateurs communiquent directement entre eux dans leur zone, à l'aide d'un protocole de communication répartie. La communication peut être assurée avec plusieurs autres nœuds simultanément et dans certains cas, l'utilisation simultanée d'un certain nombre de canaux est également possible. Les réseaux peuvent être constitués au coup par coup lorsque des utilisateurs sont à portée radioélectrique l'un de l'autre et sont disposés à collaborer. Les nœuds peuvent se déplacer librement dans le réseau ou entre réseaux. Certains nœuds peuvent être dotés d'équipements complémentaires autorisant un interfonctionnement avec d'autres réseaux filaires ou hertziens, ou offrant cette possibilité au reste du réseau hertzien.

2.3 Raccordement à un LAN filaire ou à un réseau public pour données (RPD)

Les RLAN peuvent être raccordés à des LAN filaires conformes aux normes internationales ou à tout autre réseau, au niveau de limites de service bien définies dans la pile du protocole OSI. A chaque couche du modèle, le choix des protocoles d'interface doit être effectué avec soin si l'on veut obtenir la compatibilité requise. Les unités radioélectriques individuelles peuvent aussi être utilisées comme ponts ou comme routeurs, ou avoir d'autres fonctions.

Il est également possible de raccorder un RLAN à un RPD, mais cette question appelle un complément d'étude.

2.4 Niveau de qualité de fonctionnement

Le niveau de qualité de fonctionnement d'un RLAN est défini, pour l'essentiel, en fonction du projet du client. Toutefois, certaines indications utiles pour les concepteurs peuvent être trouvées dans la Norme IEEE 802.11, qui spécifie, dans la demande d'autorisation de projet, un objectif de moins de $4 \times 10^{-5}/512$ octets pour ce qui est de la caractéristique de perte de paquets d'un système jusqu'à 2 Mbit/s, ainsi qu'un temps d'interruption de moins de 0,1%.

Dans un RLAN, les interruptions de service sont souvent dues à des effets d'occultation d'origine artificielle. Le déplacement des personnes dans une pièce peut être une cause essentielle d'occultation. En particulier, dans un système à hautes fréquences, l'occultation du trajet en visibilité directe provoque une brutale et importante baisse de la puissance reçue. En conséquence, pour respecter les valeurs précitées, il est nécessaire de chercher à connaître la fréquence d'apparition de ces phénomènes d'occultation dans un environnement physique donné.

Il conviendrait d'étudier plus avant la définition du «temps d'interruption du service» dans le cas d'un RLAN. Dans le cas d'un réseau public représenté par le trajet hypothétique de référence défini dans la Recommandation UIT-T G.826, le temps d'interruption du service est en général exprimé en secondes sévèrement erronées (SSE). Toutefois, une interprétation différente de ce temps d'interruption du service sera peut-être nécessaire dans le cas de signaux intermittents transmis par paquets. Autre facteur à considérer, la qualité de service, que les théoriciens devraient définir en fonction des besoins des utilisateurs des LAN.

Dans le cas de signaux MTA, les objectifs de qualité de fonctionnement définis sur la base des paramètres de transfert de cellules sont étudiés dans le cadre des activités de la Commission d'études 13 de la normalisation des télécommunications. Les résultats des études sont résumés dans la Recommandation UIT-T I.356, qui pourra servir de référence pour les concepteurs de RLAN.

2.5 Tolérance au brouillage

La possibilité d'un partage des fréquences entre systèmes fixes et RLAN, s'agissant par exemple de nœuds sans attache et de structures dynamiques, est une question importante qui appelle un grand nombre d'études complémentaires. Il s'agira notamment d'étudier les brouillages dans un réseau ou entre réseaux (dans un RLAN et entre RLAN) ainsi qu'entre systèmes (entre RLAN, systèmes fixes et autres services radioélectriques à titre primaire). Lorsque les fréquences attribuées au RLAN ne sont pas partagées avec d'autres systèmes ou services, le problème du brouillage peut être ramené aux configurations de la première catégorie. On trouvera dans l'Appendice 2 des exemples spécifiques de calculs de brouillage entre cellules et entre systèmes.

Autre considération, dans le cas d'un RLAN exploité dans une bande attribuée aux appareils ISM, la question est posée en termes du brouillage cumulatif maximal, occasionné par les appareils ISM, admissible par le RLAN.

Une administration envisage actuellement d'appliquer un protocole de partage des bandes entre RLAN, protocole qui n'impose qu'un minimum de paramètres techniques. Chaque fabricant ou fournisseur de services pourrait constituer des RLAN sur des bases techniques différentes dans la mesure où le protocole serait respecté.

3 Résumé

La présente Annexe avait donc pour objet d'évoquer brièvement quelques questions de propagation radioélectrique, de codage et de modulation qui se posent dans le cas des RLAN. S'il est vrai que certains des services souhaités peuvent être assurés avec des débits de transmission de l'ordre de 100 kbit/s, il faudra sans doute prévoir, au niveau des interfaces d'application, des débits pouvant atteindre la valeur intégrale du RNIS-LB, soit 155,52 Mbit/s. Cette valeur est en effet particulièrement bien adaptée aux hautes fréquences.

Les conditions de propagation à l'intérieur des bâtiments, en particulier, n'ont été que récemment caractérisées de façon suffisamment détaillée, tout spécialement aux fréquences supérieures à 2 GHz. En conséquence, dans certains systèmes, on observe une tendance à prévoir trop largement la puissance d'émission, tendance qui explique en partie le problème de plus en plus sérieux que posent les brouillages. Certaines interfaces radioélectriques envisageables pour les nouveaux systèmes fonctionneront dans de meilleures conditions d'efficacité dans des systèmes de commande de puissance centralisés ou répartis.

L'une des principales questions qui se posent pour les applications RLAN est celle du choix de la bande de fréquences, qui dépend des éléments suivants:

- plusieurs techniques nouvelles de fabrication d'équipements radioélectriques compacts à faible coût deviennent plus économiques dans les fréquences supérieures;
- la gestion des conditions de propagation, élément essentiel de l'efficacité d'utilisation du spectre, implique l'utilisation de petites antennes directives ayant des diagrammes de rayonnement prévisibles pour les systèmes fixes, ainsi que des systèmes d'attribution des canaux, d'antenne et de gestion de puissance dynamiquement adaptatifs dans le cas des systèmes sans attache;
- la largeur de bande disponible nécessaire pour admettre des débits instantanés très élevés dans le cas d'une transmission par paquets;
- les impératifs de partage des bandes avec d'autres systèmes et services, le cas échéant;
- les considérations de santé et de sécurité qui imposent une faible densité de rayonnement.

Par ailleurs, de nouvelles informations et un complément d'étude seront nécessaires en ce qui concerne d'autres caractéristiques éventuelles de qualité de fonctionnement pour ce qui est des éléments suivants:

- temps de propagation global dans le système et variance des temps de propagation pour les services limités dans le temps;
- taux d'erreur, pour des statistiques de propagation spécifiées;
- probabilité de perte de paquets, pour des structures de paquets et des protocoles spécifiés;
- traitement des collisions;
- débit;
- taux d'aboutissement des appels.

APPENDICE 1 DE L'ANNEXE 1

Caractéristiques des applications RLAN

1 Introduction

Pour établir un réseau de type RNIS-LB ou un réseau de communication personnelle offrant toutes les applications possibles, il est nécessaire de disposer d'une connaissance approfondie de ces applications d'une manière générale. Une application peut être caractérisée comme suit:

1.1 Types d'information

En général, l'information à communiquer est soit asservie au temps (synchronisation des divers éléments de l'information) soit indépendante du temps. Comme exemple de la première catégorie, citons les informations vidéo et audio, la seconde pouvant être représentée par les images fixes, les graphismes et les textes. Par ailleurs, une application comprend souvent des éléments dépendants du temps et des éléments indépendants du temps.

1.2 Impératifs de distribution

On peut également classer les applications en fonction des impératifs de distribution, et l'on distingue en l'occurrence les informations communiquées en temps réel des applications en différé. Dans le premier cas, il faut disposer d'une largeur de bande suffisante, dans le second d'une capacité de stockage adéquate. Par exemple, les vidéoconférences ou la consultation d'images sont des applications en temps réel, alors que le téléchargement de films numérisés ou de courrier électronique relève des applications en temps différé. En général, les impératifs de communications correspondant à l'application dépendent à la fois du type d'information et des impératifs de distribution.

Un autre type d'application est la radiodiffusion interactive. Dans ce cas, il faut prévoir, en sus de la liaison de radiodiffusion, une liaison de retour. Le canal de retour présente en général un débit binaire relativement faible, inférieur par exemple à 64 kbit/s. La liaison de retour peut être établie de diverses manières, et par exemple faire partie intégrante du RLAN de radiodiffusion, ou encore du mécanisme de distribution, ou être une liaison distincte du RLAN. Cette question, qui appelle un complément d'étude, est également traitée par le Groupe de travail 11C des radiocommunications au titre de la Question UIT-R 232/11.

1.3 Symétrie de la connexion

Les impératifs de communication d'une application dépendent de la symétrie des connexions; un grand nombre de réseaux permettent, par conception, de tirer parti de la symétrie ou de l'asymétrie des applications prévues. Par exemple, un réseau de télévision par câble est conçu sur le modèle d'un réseau de radiodiffusion unidirectionnel, en général sans commutateur d'aucune sorte.

1.4 L'homme et la machine

En général, les parties qui interviennent dans une application sont soit des utilisateurs humains (par l'intermédiaire de terminaux d'utilisateur), soit des systèmes de traitement de l'information. Par exemple, une communication téléphonique est une application qui fait intervenir des utilisateurs aux deux extrémités, tandis que, dans le cas d'un utilisateur qui accède à une base de données éloignée, on parle d'application utilisateur-système, alors que lorsque deux superordinateurs procèdent à des calculs parallèles pour résoudre le même problème en échangeant entre eux les résultats intermédiaires, on dit que l'application est une application machine-machine. Une collaboration en temps réel est une application entre utilisateurs, tandis qu'une collaboration en différé est une application homme-machine.

1.5 Réseau d'accès

Lieu géographique des parties communicantes; les parties ne sont pas limitées aux lieux fixes où prennent fin les liaisons du réseau d'accès filaire.

1.6 Mobilité

La mobilité permet de simplifier le processus de connexion, c'est-à-dire de raccordement à toute entité recherchée dans le réseau. Le concept de mobilité peut s'appliquer à une personne, à un terminal ou à un service.

2 Caractéristiques de trafic et de communication

Toute application peut être décrite par ses caractéristiques de trafic et le profil de communication qui lui est associé. Les caractéristiques de trafic et le profil de communication déterminent la demande qui s'exerce sur les ressources du réseau (largeur de bande et mémoire tampon) ainsi que les critères d'élaboration du protocole de réseau.

2.1 Caractéristiques de trafic

Les caractéristiques de trafic d'une application peuvent être spécifiées par rapport au processus de génération du trafic (ou encore à la structure du trafic), sous forme d'une séquence de paquets générés en des instants arbitraires. Ce processus de génération peut être modélisé sous forme de source à deux états (active-inactive). La structure du trafic peut être caractérisée par deux processus stochastiques:

- processus de génération des paquets (ou encore processus d'arrivée des paquets),
- processus de distribution des longueurs de paquet.

2.1.1 Structures de trafic:

- structure périodique, à intervalles réguliers, pour les applications en temps réel. Par exemple, un système audio MIC conventionnel à 64 kbit/s génère des échantillons à des intervalles de 125 μ s, chaque échantillon comprenant 8 bits;
- structure irrégulière, avec des salves générées en des instants aléatoires séparés par des intervalles de silence de durée aléatoire. Les systèmes de communication de données classiques sont discontinus puisqu'il s'agit typiquement de transférer des fichiers avec une logique distante. L'incapacité à prédire les phases d'activité, notamment l'instant de génération des paquets, est le principal problème à régler dans la conception d'un réseau à commutation par paquets.

Comme les applications multimédias se caractérisent aussi bien par un trafic périodique que par un trafic discontinu, le principal problème consiste à offrir les deux catégories de trafic avec une qualité de fonctionnement garantie dans le même réseau intégré.

| Classification des applications selon la Norme IEEE P802.11/92-112 (septembre 1992) | | |
|--|-------------------------------------|--|
| Profil de distribution | Types d'information | |
| | Dépendante du temps | Indépendante du temps |
| Temps réel | Vidéoconférence Vidéo à la carte | Consultation interactive d'images Calcul |
| Différé | Courrier vidéo | Courrier électronique Transfert de fichiers |

2.2 Profil de communication

On distingue trois profils de communication définis respectivement par référence à la largeur de bande, au temps de propagation ou au taux d'erreur.

2.2.1 Largeur de bande

Les besoins en largeur de bande associés à une application dépendent du type d'information et des modalités de distribution.

Dans le cas d'une application en temps réel, la largeur de bande correspond au volume d'information généré par l'application par unité de temps. Le profil largeur de bande peut alors être constant ou variable, et l'on parle respectivement d'applications à débit binaire constant ou d'applications à débit binaire variable. A l'heure actuelle, il faut recourir au codage pour s'accommoder des contraintes imposées par le réseau existant, mais dans l'idéal les réseaux devraient être conçus en fonction des applications actuelles et futures et des divers impératifs qui en découlent.

Dans le cas d'une application en temps différé, la largeur de bande requise dépend de la caractéristique de temps de transmission (délai total admissible pour la transmission de toute l'information) et du volume de l'information communiquée.

La largeur de bande offerte par le réseau devrait toujours dépasser le besoin en largeur de bande des diverses applications. Lorsque la largeur de bande est insuffisante, il faut que le réseau offre des mémoires tampons permettant d'éviter toute perte d'information, mais alors il faut compter avec un temps de temporisation et un certain risque d'erreur.

Par conception, certains protocoles de réseau imposent tout d'abord, pour chaque nouvelle application, une négociation de la largeur de bande disponible auprès du réseau, préalable à l'établissement de la connexion. Par ailleurs, le protocole peut garantir la largeur de bande requise par la nouvelle application dès lors qu'elle est acceptée par le réseau. Il en découle deux critères pour le protocole: le protocole doit être orienté-connexion et prévoir un système de réservation.

Outre les modalités de distribution et les types d'information associés à l'application, la demande totale de largeur de bande adressée à un réseau hertzien dépend du nombre d'utilisateurs, du nombre de parties intervenant dans chaque application (point à point vis-à-vis de point-multipoint) et enfin du type de connexion de chaque application (symétrique ou asymétrique).

| Besoins en largeur de bande selon la Norme IEEE P802.11/92-112 (septembre 1992) | | |
|--|--|---|
| Applications multimédias en temps réel | Exemples | Largeur de bande (avec compression) |
| Information dépendant du temps | Téléphonie | 8, 16, 32 kbit/s |
| | Stéréophonie qualité CD (MPEG ⁽¹⁾) | 256 kbit/s |
| | Vidéo MDEG (qualité magnéscope à cassette) | 1,5 Mbit/s |
| | TVHD | 20 Mbit/s |
| Information indépendante du temps (temps de réaction = 10 à 40 ms) | Edition de texte (10 koctets) | 2-8 Mbit/s |
| | Images couleur JPEG ⁽²⁾ (1 Moctet) | 4-20 Mbit/s (40 ms) et 15-75 Mbit/s (10 ms) |

(1) La Norme ISO MPEG de l'Organisation internationale de normalisation est un protocole unidirectionnel de compression audio/vidéo, avec diverses valeurs de résolution spatiale et temporelle, applicable jusqu'à 1,92 Mbit/s.

(2) La Norme ISO JPEG (Joint Photographic Expert Group) établie en commun par l'ISO et l'ex-CCITT, définit une large gamme de taux de compression pour images en couleur ou images en noir et blanc en demi-tons.

2.2.2 Temps de réaction

Le problème du temps de réaction ou de transmission dans un réseau à commutation par paquets se pose lorsque la largeur de bande instantanée disponible dans le réseau n'est pas suffisante. Lorsque la largeur de bande est insuffisante en un endroit quelconque du réseau, il faut prévoir une mémoire tampon (sauf lorsque l'on peut se permettre de perdre une partie de l'information), ce qui retarde de façon aléatoire le temps de transmission de l'information.

Pour une remise en temps réel d'informations qui dépendent du temps, les paramètres considérés sont le temps de propagation absolu et les problèmes de gigue dus au temps de propagation. Le temps de propagation absolu est important dans le cas de communications en temps réel du type vidéoconférence ou conversation téléphonique classique puisque, pour une conversation naturelle, la réponse est attendue dans des limites de temps finies. La gigue de temps de propagation est la variance du temps de propagation absolu, d'un paquet à l'autre, dans le même flux d'information.

Dans le cas d'informations indépendantes du temps ou d'une distribution indépendante du temps d'informations qui dépendent du temps, le principal paramètre est le temps de propagation absolu qui doit être inférieur au temps de réaction requis par l'application.

2.2.3 Erreurs

La commutation par paquets, en raison de la nature statistique du multiplexage et de la commutation, peut occasionner un certain retard aléatoire de propagation lorsque la largeur de bande instantanée disponible en un point du réseau n'est pas suffisante et qu'il faut stocker temporairement l'information dans une mémoire tampon. Deux types d'erreur peuvent alors se produire. Tout d'abord, le tampon peut être insuffisant, si bien qu'il est nécessaire d'accepter la perte d'une partie de l'information. En second lieu, dans le cas d'applications en temps réel acheminant des informations qui dépendent du temps, le retard dû au stockage dans une mémoire tampon peut être supérieur au retard dû à la gigue de temps de propagation.

Dans une configuration hertzienne, il faut compter avec la source d'erreurs additionnelle que constituent les canaux de communication, en raison du bruit et des conditions de propagation.

3 Caractéristiques du protocole radioélectrique

Les caractéristiques de trafic de bon nombre d'applications multimédias relèvent des deux catégories (périodique/en salve). Pour garantir la qualité de service de telles applications, la largeur de bande doit être suffisante pour les débits de données ou les contraintes de temps de réaction prévues. En conséquence, on a parfois besoin d'un protocole orienté connexion capable de gérer l'établissement des connexions et la consommation de largeur de bande de chaque connexion. Un protocole de gestion d'accès au support à limitation (protocoles ALOHA et CSMA, par exemple) n'est pas toujours, par nature, capable d'accepter des applications n'ayant pas de mécanisme intégré de réservation de la largeur de bande.

Des protocoles de gestion d'accès au support à limitation ne sont pas toujours d'application universelle dans le domaine des multimédias, mais les deux catégories de protocoles d'accès au support – orienté-connexion et avec réserve – sont un excellent point de départ pour un complément de recherche. Il faudra en l'occurrence établir une description mathématique complète des caractéristiques de trafic et profils de communication associés (largeur de bande, temps de réaction, taux d'erreur) et de leurs répercussions au niveau des besoins de réseau (largeur de bande et mémoires tampons).

Le profil de communication associé à une application (ou à chaque flux d'information dans l'application) peut être classé en deux catégories: profils de macrobesoins et profils de microbesoins.

Les macrobesoins, spécifiés pendant la phase d'établissement de la connexion, caractérisent les besoins globaux de transfert d'information correspondant à l'application, exprimés selon les paramètres suivants:

- largeur de bande (moyenne, maximale, etc.),
- temps de réaction (temps de propagation absolu, retard de transmission),
- taux d'erreur,
- durée de la session,
- taux de transaction,
- transfert d'information par mouvement,
- transfert d'information total.

Les microbesoins, assimilables à la qualité de service garantie par le réseau, caractérisent les besoins de mouvements de messages de l'application, exprimés par référence aux paramètres suivants:

- temps de propagation absolu,
- variances de temps de réaction,
- taux d'erreur (moyen en salve).

Les microbesoins doivent être implicitement garantis par le réseau lorsque la connexion est autorisée.

APPENDICE 2 DE L'ANNEXE 1

Exemples de calculs de brouillage

Le présent Appendice traite de la possibilité de partage entre des RLAN multiples et entre des RLAN à 18 GHz d'une part et d'autres systèmes fixes ou fixes par satellite d'autre part.

1 Coexistence de RLAN multiples

Dans le cas d'une macrocellule sans occultation en visibilité directe, il y a lieu de séparer les modules de commande (MC) utilisant le même canal d'au moins 15 fois la distance entre le MC considéré et le module d'utilisateur (MU) correspondant. Par exemple, dans le cas d'une distance MC-MU de 12 m, la séparation sera d'au moins 180 m.

Lorsqu'il n'y a pas visibilité directe, les MC utilisant le même canal doivent être séparés d'au moins cinq fois la distance entre le MC considéré et le plus éloigné des MU de l'une ou l'autre microcellule.

2 Coexistence de RLAN et de systèmes fixes point-multipoint

Les paramètres techniques suivants ont été pris pour hypothèses dans l'évaluation de la compatibilité entre des RLAN multiples et des systèmes fixes point-multipoint:

- p.i.r.e. d'émission d'un RLAN = 0 dBW;
- affaiblissement minimal dans les bâtiments = 6 dB;
- gain des antennes directives de RLAN = 10 dBi;
- gain des antennes directives des systèmes point-multipoint = 38 dBi;
- seuil de récepteur = –115 dBW (RLAN ou systèmes fixes point-multipoint);
- niveau de brouillage en dessous du seuil de récepteur = 10 dB;
- puissance d'émission d'une station distante de système point-multipoint = –13 dBW
- puissance d'émission de la station centrale d'un système point-multipoint = –13 dBW;
- fréquence (utilisée dans les calculs d'affaiblissement en fonction de la distance) = 18,8 GHz.

La distance de séparation la plus importante est celle qui sépare la station centrale du système fixe point-multipoint du récepteur de RLAN. Sur la base des hypothèses ci-dessus, la distance de séparation en espace libre est de l'ordre de 115 km. Cette distance serait réduite dans la pratique compte tenu des autres paramètres (courbure de la surface de la terre, affaiblissement dans l'atmosphère, affaiblissement dû aux obstructions).

3 Coexistence de RLAN et de systèmes fixes point à point

On admet généralement que la p.i.r.e. d'un système fixe point à point est supérieure de plus de 10 dB à celle d'un RLAN. En conséquence, la distance de coordination des deux systèmes dépend du brouillage occasionné par le système point à point au RLAN. Le niveau des brouillages peut s'exprimer comme suit:

$$E_f - \Delta G_{ff}(\theta) - L_s - L_b + \Delta G_{rl} < R_{nl} + R_{il} \quad (1)$$

où:

E_f : p.i.r.e. de la station point à point
= 28 à 37 dBW

$\Delta G_{ff}(\theta)$: Affaiblissement de directivité d'antenne de la station point à point (antenne parabolique de 2,4 m de diamètre)

θ : angle de séparation compris entre l'axe principal de l'antenne du système point à point et l'axe principal de l'antenne du RLAN

L_s : affaiblissement dans l'espace libre

L_b : effet d'occultation des bâtiments
= 6 à 40 dB

ΔG_{rl} : affaiblissement de directivité de l'antenne de la station RLAN
= 5 dB

R_{nl} : niveau de bruit thermique du récepteur RLAN
= –95,8 dBm

R_{il} : rapport I/N requis au niveau du récepteur RLAN
= –6 dB (voir la Recommandation UIT-R F.758)

Le Tableau 4 expose les résultats de calculs effectués pour des valeurs de E_f comprises entre 27 et 37 dBW (sur la base des valeurs maximales et minimales du Tableau 8 de la Recommandation UIT-R F.758), avec θ et L_b comme paramètres. Dans les bâtiments dans lesquels des matériaux de blindage ont été utilisés pour les fenêtres et les murs, on peut s'attendre à une atténuation de 20 à 40 dB dans la bande de fréquences des 19 GHz. La Fig. 4 illustre la variation de la distance de coordination en fonction des diverses valeurs de θ comprises entre 0° et 90° pour $E_f = 37$ dBW.

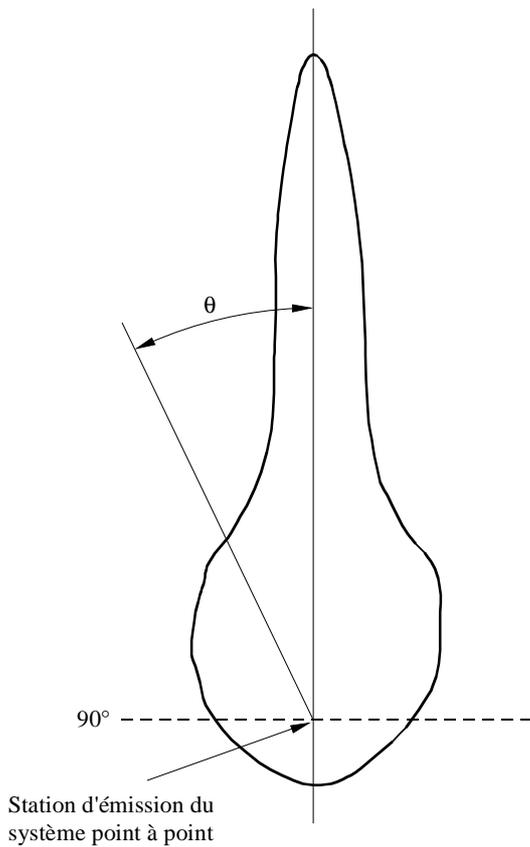
TABLEAU 4

Distance de coordination entre des systèmes fixes point à point et un RLAN

| | $L_b = 6 \text{ dB}$ | | $L_b = 20 \text{ dB}$ | | $L_b = 40 \text{ dB}$ | |
|------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | $\theta = 0^\circ$ | $\theta = 90^\circ$ | $\theta = 0^\circ$ | $\theta = 90^\circ$ | $\theta = 0^\circ$ | $\theta = 90^\circ$ |
| $E_f = 37 \text{ dBW}$ | 229 km | 25 km | 46 km | 52 m | 4,6 km | 5 m |
| $E_f = 27 \text{ dBW}$ | 81 km | 9 km | 16 km | 18 m | 1,6 km | 2 m |

FIGURE 4

Distance de coordination dans le cas d'un système point à point fixe



| Angle, θ (degrés) | Distance de coordination (km) |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 0 | 221,3 |
| 0,3 | 156,7 |
| 0,5 | 39,4 |
| 1 | 22,1 |
| 3 | 5,56 |
| 5 | 3,94 |
| 10 | 2,00 |
| 20 | 1,24 |
| 30 | 1,10 |
| 40 | 0,70 |
| 50 | 0,62 |
| 60 | 0,56 |
| 70 | 0,44 |
| 80 | 0,35 |
| Plus de 90 | 0,25 |

1244-04

Ces résultats montrent que même avec la valeur maximale du paramètre L_b , la coexistence des deux types de systèmes impose une séparation géographique supérieure à 1 km. Etant donné que les longueurs de bond d'un grand nombre de systèmes point à point ne dépassent pas quelques kilomètres, il n'est pas envisageable d'obtenir un partage des fréquences entre systèmes point à point fixes et RLAN dans les bandes situées au voisinage de 19 GHz.

4 Coexistence de RLAN et de systèmes du service fixe par satellite (SFS)

4.1 Partage avec les stations terriennes du SFS pour les liaisons descendantes

Dans ce cas, il y a lieu de considérer le brouillage occasionné par une station RLAN à une station terrienne du SFS. Le niveau de brouillage répond à l'équation suivante:

$$E_l - \Delta G_{tl} - L_s - L_b + G_{rst}(\varphi) |_{\theta=0} - L_{fs} < R_{ns} + R_{is} \quad (2)$$

où:

- E_l : p.i.r.e. de la station RLAN
= 0 à 6 dBW
- ΔG_{tl} : affaiblissement de directivité d'antenne de la station RLAN
= 5 dB
- L_s : affaiblissement en espace libre
- L_b : effet d'occultation des bâtiments
= 6 à 40 dB
- $G_{rst}(\varphi) |_{\theta=0}$: gain d'antenne de la station terrienne du SFS
= -10 dBi pour $\varphi > 36^\circ$
= $29 - 25 \log \varphi$ dBi pour $1^\circ < \varphi < 36^\circ$
- φ : angle d'élévation de la liaison descendante du SFS par rapport à la direction de la station RLAN (voir la Fig. 5)
- θ : angle azimutal de la liaison descendante du SFS par rapport à la direction de la station RLAN (voir la Fig. 5)
- L_{fs} : pertes du dispositif d'alimentation de la station terrienne du SFS
= 2 dB
- R_{ns} : niveau de bruit thermique du récepteur de la station terrienne du SFS
= -99,8 dBm
- R_{is} : rapport I/N requis au niveau du récepteur de la station terrienne du SFS
= -6 dB (voir la Recommandation UIT-R F.758)

Les résultats des calculs sont exposés au Tableau 5 pour $E_l = -1$ dBW et 5 dBW, avec φ et L_b comme paramètres.

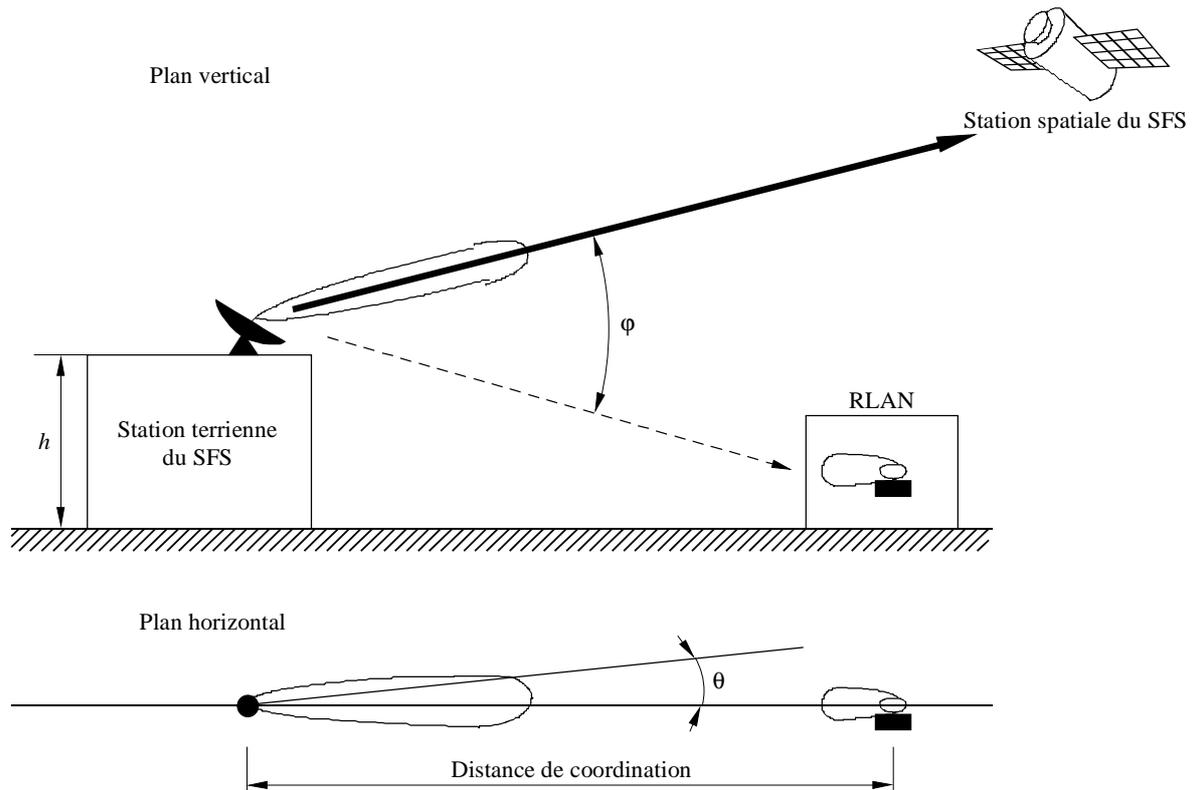
TABLEAU 5

Distance de coordination entre un RLAN et une station terrienne du SFS (liaison descendante)

| | $L_b = 6$ dB | | $L_b = 20$ dB | | $L_b = 40$ dB | |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | $\varphi = 10^\circ$ | $\varphi = 36^\circ$ | $\varphi = 10^\circ$ | $\varphi = 36^\circ$ | $\varphi = 10^\circ$ | $\varphi = 36^\circ$ |
| $E_l = 5$ dBW | 4,8 km | 995 m | 995 m | 191 m | 96 m | 19 m |
| $E_l = -1$ dBW | 2,4 km | 480 m | 480 m | 96 m | 48 m | 10 m |

FIGURE 5

Configuration géographique dans un modèle de calcul de partage



1244-05

Les valeurs du Tableau 5 ont été obtenues à partir des hypothèses suivantes: l'angle de séparation des deux systèmes dans le plan horizontal correspond à la valeur la plus défavorable, soit $\theta = 0^\circ$. En conséquence, dans des conditions réelles, on pourra s'attendre à une meilleure réduction du brouillage.

Les possibilités de partage dépendent de l'effet d'occultation des bâtiments ainsi que de l'angle d'élévation de la liaison du SFS. Lorsque le RLAN est exploité dans un bâtiment bien protégé, un partage sera possible dans le cadre d'une évaluation au coup par coup des conditions de brouillage.

4.2 Partage avec des stations terriennes du SFS pour les liaisons montantes

Dans ce cas, on considère le brouillage occasionné par une station terrienne du SFS à une station RLAN.

Le niveau de brouillage peut s'exprimer comme suit:

$$E_{TS} + G_{TS}(\varphi) |_{\theta = 0} - L_S - L_b + G_{rl} - \Delta G_{rl} < R_{nl} + R_{il} \quad (3)$$

où:

E_{TS} : puissance d'émission de la station terrienne du SFS à l'entrée de l'antenne
= -4 à 20 dBW

$G_{TS}(\varphi) |_{\theta = 0}$: gain d'antenne de la station terrienne du SFS
= -10 dBi pour $\varphi > 36^\circ$
= $29 - 25 \log \varphi$ dBi pour $1^\circ < \varphi < 36^\circ$

φ : angle d'élévation de la liaison montante du SFS par rapport à la direction de la station RLAN (voir la Fig. 5)

L_S : affaiblissement en espace libre

| | |
|-------------------|--|
| L_b : | effet d'occultation des bâtiments = 6 à 40 dB |
| G_{rl} : | gain d'antenne de la station RLAN = 10 dB |
| ΔG_{rl} : | affaiblissement de directivité d'antenne de la station RLAN = 5 dB |
| R_{nl} : | niveau de bruit thermique du récepteur de la station RLAN = -95,8 dBm |
| R_{il} : | rapport I/N requis au niveau du récepteur de la station RLAN = -6 dB (voir la Recommandation UIT-R F.758) |

Les résultats des calculs sont exposés au Tableau 6 pour $E_{ts} = 20$ dBW et -4 dBW, avec φ et L_b comme paramètres.

TABLEAU 6

**Distance de coordination entre un RLAN et une station terrienne du SFS
(liaison montante)**

| | $L_b = 6$ dB | | $L_b = 20$ dB | | $L_b = 40$ dB | |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | $\varphi = 10^\circ$ | $\varphi = 36^\circ$ | $\varphi = 10^\circ$ | $\varphi = 36^\circ$ | $\varphi = 10^\circ$ | $\varphi = 36^\circ$ |
| $E_{ts} = 20$ dBW ⁽¹⁾ | 85 km | 17 km | 417 km | 3,4 km | 1,7 km | 340 m |
| $E_{ts} = -4$ dBW ⁽²⁾ | 2,2 km | 441 m | 442 m | 88 m | 44 m | 9 m |

⁽¹⁾ Valeur type correspondant à une station terrienne exploitée dans la bande 20/30 GHz au Japon.

⁽²⁾ Valeur donnée au Tableau 7, § 2.1C dans le Rapport de la Réunion de préparation à la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995).

Les valeurs données dans le Tableau 6 sont calculées dans le cas de l'hypothèse la plus défavorable, comme pour la station de liaison descendante. Etant donné que le nombre de stations de liaison montante est relativement limité et que les deux stations ne sont pas toujours en visibilité directe l'une de l'autre, le partage pourrait être envisageable dans certaines configurations géographiques.

APPENDICE 3
DE L'ANNEXE 1

**Principaux problèmes à prendre en considération dans le cas
de RLAN intérieurs dans la gamme 20-60 GHz**

1 Introduction

On envisage d'utiliser les fréquences comprises entre 20 et 60 GHz pour les communications radioélectriques à l'intérieur de bâtiments. On s'attend qu'une gamme complète de services de communication (voix, données, image, etc.) seront disponibles sur des terminaux personnels radioélectriques aussi bien à l'intérieur des bâtiments que dans des configurations externes. En temps utile, les réseaux de communication personnelle par moyens hertziens feront partie intégrante des futurs RNIS-LB. On s'attend également à une forte densité de terminaux à l'intérieur des bâtiments administratifs, si bien qu'il faudra prévoir d'importantes ressources en spectre. Une partie de la gamme de fréquences 20-60 GHz est actuellement envisagée pour de telles applications.

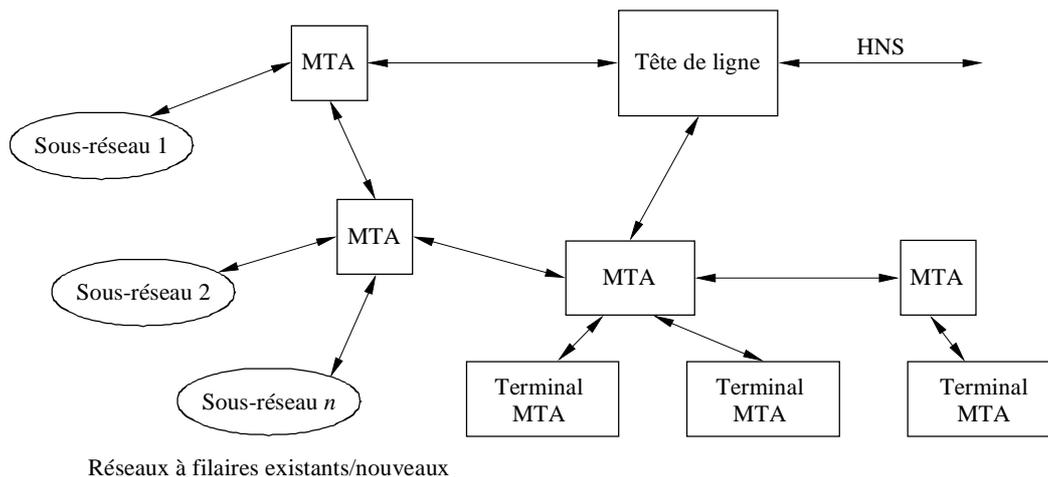
1.1 Considérations générales

Les principaux facteurs à prendre en compte dans les futurs réseaux de transport sont la généralisation de la hiérarchie numérique synchrone (HNS) et du mode de transfert asynchrone (MTA) (se reporter aux Recommandations UIT-R F.750 et UIT-R F.751). Les normes établies en la matière, comme d'autres normes apparentées, ont été définies en prévision d'une très forte augmentation du trafic de communication, à la suite de l'introduction du RNIS-LB.

On s'accorde généralement à reconnaître qu'une combinaison de techniques MTA/HNS sera à la base des RNIS-LB appliqués aux LAN ainsi que des futurs réseaux nationaux et universels. On estime par ailleurs que, pour un fonctionnement efficace, les réseaux hertziens à large bande devront être intégralement compatibles avec les futurs LAN large bande à fibres optiques.

La norme MTA sera sans doute utilisée à tous les niveaux des réseaux. La technologie MTA est extrêmement intéressante puisqu'elle permet d'intégrer différentes technologies et différentes formes de réseaux et de services dans le même bâtiment – ou à l'échelle de la planète. La Fig. 6 illustre une configuration de LAN interne. Les interconnexions entre les différentes composantes sont facilitées par les commutateurs MTA relevant de la même interface physique HNS. Les sous-réseaux de la Figure sont les actuels systèmes de communication (par exemple Ethernet), raccordés au réseau MTA par des traducteurs MTA. Les autres terminaux MTA (base de données vidéo, superordinateurs, terminaux multimédias raccordés, etc.) sont raccordés directement au réseau.

FIGURE 6
LAN MTA à fibres



1244-06

1.2 Conditions de propagation

L'étalement des temps de propagation et l'affaiblissement du signal qui caractérisent les systèmes installés dans des locaux réduits sont des paramètres importants qui se répercutent sur la capacité d'un RLAN à offrir des débits de données élevés avec des terminaux de faible puissance fonctionnant dans la gamme 20-60 GHz.

1.2.1 Etalement des temps de propagation

On dispose d'assez peu d'informations sur l'étalement des temps de propagation à l'intérieur de bâtiments dans la bande 20-60 GHz. Un récent document exposait les résultats obtenus avec un système fonctionnant à 58 GHz (voir le Tableau 7).

Ces résultats donnent à penser que, dans la plupart des cas, les trajets multiples ne subissent qu'un petit nombre de réflexions. Cette observation a d'importantes implications au niveau de la conception technique et du fonctionnement des antennes directives. Il semble que, dans la plupart des cas, une antenne équidirective aura, dans des conditions de puissance constante, un profil temporel de propagation comparable à un trajet aller-retour dans la pièce considérée, alors qu'une antenne très directive pourra présenter un profil de temps de propagation inhomogène (un ou deux regroupements) (groupements étroits séparés par une valeur équivalente à un trajet de propagation aller-retour dans la pièce).

On peut mesurer l'affaiblissement total du signal dans une pièce de dimensions limitées. Les résultats indiquent que l'affaiblissement total sur le trajet, dans tous les cas du Tableau 7 par exemple, est compris entre 65 et 85 dB, la différence la plus défavorable entre l'absence et la présence de trajet en visibilité directe étant d'environ 5 dB.

TABLEAU 7

Données de mesure d'étalement des temps de propagation

| | Dimensions de la pièce (m) | Etalement des temps de propagation (ns) | Observations |
|---|----------------------------|---|---|
| A | 24,3 × 11,2 | 44 | Cloisons en bois |
| B | 30 × 21 | 32 | Matériaux acoustiques souples |
| C | 43 × 41 | 58 | Couloirs ou murs en béton |
| D | 33,5 × 32,2 | 55 | Salles d'ordinateurs, murs en béton |
| E | 44,7 × 2,4 | 72 | Couloirs en béton |
| F | 9,9 × 8,7 | 40 | Salles d'ordinateurs, cloisons en métal |
| G | 12,0 × 8,9 | 18 | Salle de lecture, cloisons en bois |
| H | 11,2 × 7,3 | 28 | Laboratoire, béton recouvert de plâtre |

L'étalement des temps de propagation, (soit le temps écoulé entre le premier et le dernier des signaux susceptibles d'être détectés), impose une limite au débit binaire maximal sans brouillage intersymbole. Le Tableau 8 donne quelques valeurs efficaces typiques de l'étalement des temps de propagation pour les fréquences de 1,7 et 60 GHz.

TABLEAU 8

Distribution de probabilité de l'étalement des temps de propagation efficace

| Probabilité (%) | 1,7 GHz | 60 GHz |
|-----------------|---------|---------|
| 25 | < 15 ns | < 2 ns |
| 50 | < 23 ns | < 7 ns |
| 75 | < 35 ns | < 8 ns |
| 95 | < 45 ns | < 13 ns |

Le Tableau 9 fait apparaître que l'étalement des temps de propagation à 60 GHz est inférieur à la valeur observée à la fréquence de 1,7 GHz. A 60 GHz, l'étalement des temps de propagation (valeur efficace) est inférieur à 10 ns avec une probabilité de 90%.

Les résultats de mesures statiques font apparaître qu'à l'exception d'une petite salle comportant un mobilier important, les étalements statiques sont inférieurs de 15% à 20% à 40 et 60 GHz aux valeurs observées à 950 MHz. Par ailleurs, les résultats montrent que le mobilier a pour effet de supprimer l'aggravation de l'effet de la propagation par trajet multiple en fonction de la distance émission-réception.

1.2.2 Affaiblissement du signal

Dans un petit espace clos, le signal s'affaiblit selon la loi d'affaiblissement en espace libre et en visibilité directe. Les trajets multiples subissent une ou plusieurs réflexions, si bien que la réflectivité des murs a un effet sur la force du signal. A 60 GHz, la réflectivité des murs varie fortement (voir le Tableau 9).

TABLEAU 9
Réflectivité des murs (mesurée)

| Matériau | Réflectivité (%) |
|--------------------------------|------------------|
| Placoplâtre (1 cm d'épaisseur) | 2 |
| Béton | 16 |
| Aluminium | > 99 |
| Bois (20 mm d'épaisseur) | 2 |
| Verre (3 mm d'épaisseur) | 16 |

1.3 Conception de l'antenne

Le type d'antenne dépendra de la valeur de gain (faible ou élevé) requise. Une antenne à gain élevé permet d'utiliser des terminaux radioélectriques de moindre puissance et de réduire l'étalement des temps de propagation mais ce type d'antenne est plus sensible aux effets d'obstruction et de masquage.

On peut envisager d'adapter le gain de l'antenne aux dimensions de la pièce. Les petites pièces peuvent être desservies par des antennes à faible gain tandis que les grandes pièces seront couvertes par un ensemble d'antennes à gain élevé.

1.4 Caractéristiques de trafic

Les résultats d'études récentes permettent de prévoir les besoins en débit des futures applications radioélectriques à large bande internes (Norme IEEE P802.11/92-20). Selon le document IEEE 802.11 relatif aux WLAN radioélectrique, le débit de terminaux multimédias pourrait être compris entre 16 kbit/s (téléphonie avec compression) et 20 Mbit/s (vidéo TVHD en temps réel avec compression). Le Tableau 10 résume les principaux paramètres des systèmes multimédias.

Le débit maximal de 20 Mbit/s (soit 2 048 octets en 11 ms) est associé à la vidéo TVHD comprimée, encore que le débit binaire instantané requis soit variable. Comme l'indique le Tableau 8, le TEB admissible maximal est de 1×10^{-3} , et le temps de transfert maximal peut être inférieur à 1 ms. Ces valeurs posent un problème très ardu aux concepteurs de système, en particulier lorsqu'il s'agit de TVHD.

En communications hertziennes, il est préférable d'exprimer la charge de trafic en termes de densité de débit de données, $\rho_{données}$, soit en bits par seconde par unité de surface (bit/s/m^2). Une récente estimation laisse prévoir une moyenne de trafic d'environ $0,05 \text{ Mbit/s/m}^2$ dans un environnement de bureautique typique, d'ici à dix ans. Cette estimation semble signifier une limite inférieure en ce qui concerne le débit de données. Pour les terminaux fonctionnant en mode TVHD, la limite supérieure serait en l'occurrence d'environ 10 Mbit/s/m^2 (soit $0,05 < \rho_{données} < 10$).

1.5 Configuration de réseau envisageable

On envisage une configuration de réseau hertzien parfaitement intégrée dans un LAN RNIS-LB à fibres optiques (Fig. 7). La zone de service totale est subdivisée en cellules dont les dimensions et la forme sont dictées par la configuration des locaux (la forme hexagonale arbitraire classique n'est donc pas imposée). Chaque cellule est limitée par des murs et desservie par un réseau hertzien sur une seule fréquence porteuse dans la bande des ondes millimétriques. Les porteuses sont générées au niveau des réseaux individuels et régénérées au niveau des terminaux portables. L'étalement des temps de propagation doit être déterminé par le gain d'antenne. Une petite cellule délimitée par des cloisons peu rigides pourrait être couverte par une seule antenne à large faisceau. Lorsque les murs ou le mobilier présentent une réflectivité élevée, il y a lieu d'accroître le gain d'antenne par modelage du faisceau. Les zones plus grandes sont dans ce cas couvertes par plusieurs antennes à gain élevé, et une macrodiversité serait nécessaire et justifiée puisque les antennes seraient séparées les unes des autres par des distances représentant à peine quelques fois la longueur d'onde utilisée.

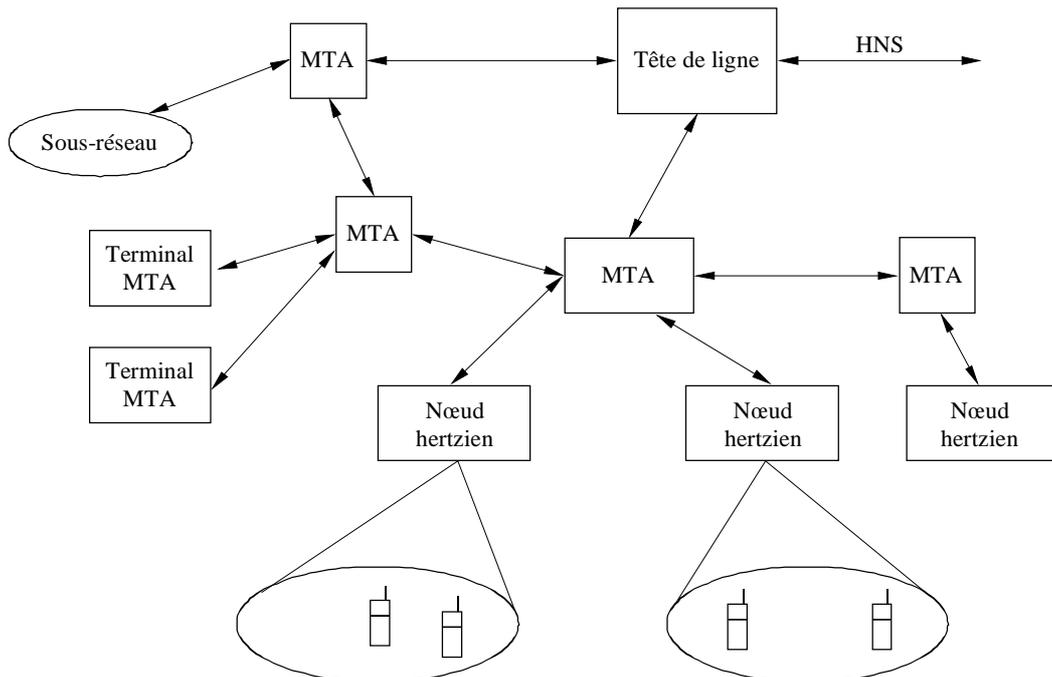
TABLEAU 10

Paramètres de trafic des terminaux multimédias

| | Vidéoconférence | NTSC MPEG ⁽¹⁾ | TVHD | Voix |
|--|--------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| Attribut | Comprimé | Comprimé | Comprimé | Comprimé |
| Dimension (octets) | 2 048 | 2 048 | 2 048 | 512 |
| Arrivée (ms) | 250 constante | 11 constante | 0,8 constante | 250 constante |
| Temps de propagation (ms) (nominal) | 30 | 5 | 0,8 | 30 |
| Temps de propagation (ms) (écart type) | 100 | 5 | 0,8 | 100 |
| Temps de propagation (ms) (maximal) | 250 | 11 | 0,8 | 250 |
| TEB | 1×10^{-3} | 1×10^{-3} | 1×10^{-3} | 1×10^{-3} |

(1) Norme de l'ISO (Motion Picture Expert Group (MPEG)).

FIGURE 7
Intégration dans le WLAN/LAN MTA



Le système d'accès est une forme modifiée d'interrogation en mode DRT. Le cycle d'interrogation des terminaux à grand débit est un cycle séquentiel, tandis que les terminaux à faible débit sont interrogés par catégorie. Chaque terminal à grand débit peut vider sa mémoire tampon (dans les limites imposées par les conditions de trafic et les priorités), alors que les terminaux à faible débit sont autorisés à transmettre un paquet de données par cycle d'interrogation. La seconde moitié du cycle d'interrogation contient le trafic sortant.

Le réseau hertzien apparaît, pour le reste du RNIS-LB à fibres optiques, comme une simple unité MTA. Le trafic entrant est réparti en cellules de données et un trajet virtuel est établi entre chaque terminal radioélectrique et sa destination. Les fonctions spécifiques des systèmes de communication hertziens (transfert, gestion d'accès et limitation d'erreur) sont également assurées par les réseaux radioélectriques. Les communications entre les réseaux radioélectriques élémentaires et entre ces réseaux et l'unité de gestion centralisée sont assurées par le LAN à fibres en mode commutation MTA.
