

LES FAISCEAUX HERTZIENS

I- LES GENERALITES

Les faisceaux hertziens, initialement conçus pour transmettre des multiplex téléphoniques ou des images analogiques, connaissent une évolution constante liée à la numérisation des supports de transmission ainsi qu'au traitement de l'information.

1-Présentation des faisceaux hertziens

Un faisceau hertzien est une liaison radioélectrique point à point, bilatérale et permanente (full duplex), à ondes directives, offrant une liaison de bonne qualité et sûre permettant la transmission d'informations en mode multiplex à plus ou moins grande capacité, de 3 à 60 voies. Un **faisceau hertzien** est un **système de transmission** de signaux permettant l'interconnexion de sites distants utilisant les ondes radioélectriques.

Ce type de **liaisons radio point à point** est aujourd'hui principalement numérique et est utilisé pour des liaisons voix et données. Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1 GHz à 40 GHz très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

Ces ondes sont sensibles aux masquages (relief, végétation, bâtiments...), aux précipitations, aux conditions de réfractivité de l'atmosphère et présentent une sensibilité assez forte aux phénomènes de réflexion.

Destinés à la mise en œuvre de **réseaux de télécommunications** les **faisceaux hertziens** numériques offrent de grandes capacités de débit et sont évolutifs en fonction des besoins de l'utilisateur.

Les **faisceaux hertziens** sont souvent complémentaires de réseaux de fibre optique pour assurer la continuité de certains points de raccordement ou sont utilisés pour redonder certaines liaisons cuivre tout en optimisant les coûts notamment par rapport à des liaisons louées. Le **faisceau hertzien** dispose de point d'accès à la norme G703 et Ethernet. Les débits vont de 2 à 155 Mbps.

C'est le développement de la téléphonie, et en particulier l'incroyable phénomène "téléphone mobile" qui est à l'origine du développement spectaculaire des faisceaux hertziens. Ce procédé permet de transmettre des signaux d'information (téléphonie, télévision, etc.) d'un point à un autre du territoire. On utilisera dans les faisceaux hertziens des antennes suffisamment directives pour faire l'analogie entre propagation des ondes et celle d'un faisceau lumineux, et des bandes de fréquences élevées.

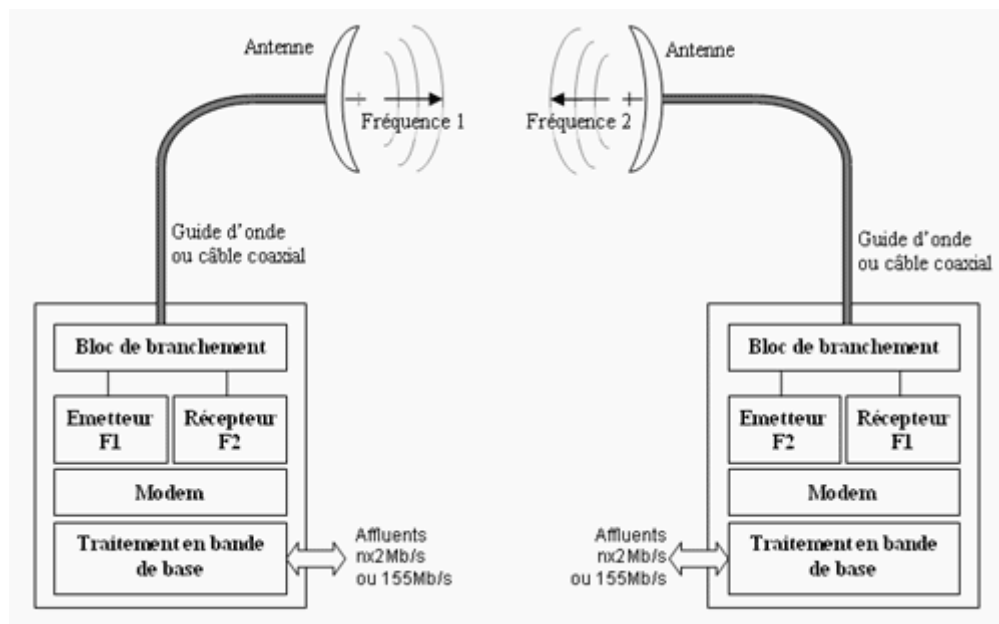
Un faisceau hertzien transmet selon les cas :

- Des conversations téléphoniques groupées en un multiplex fréquentiel ou temporel
- Des programmes de télévision
- Des données

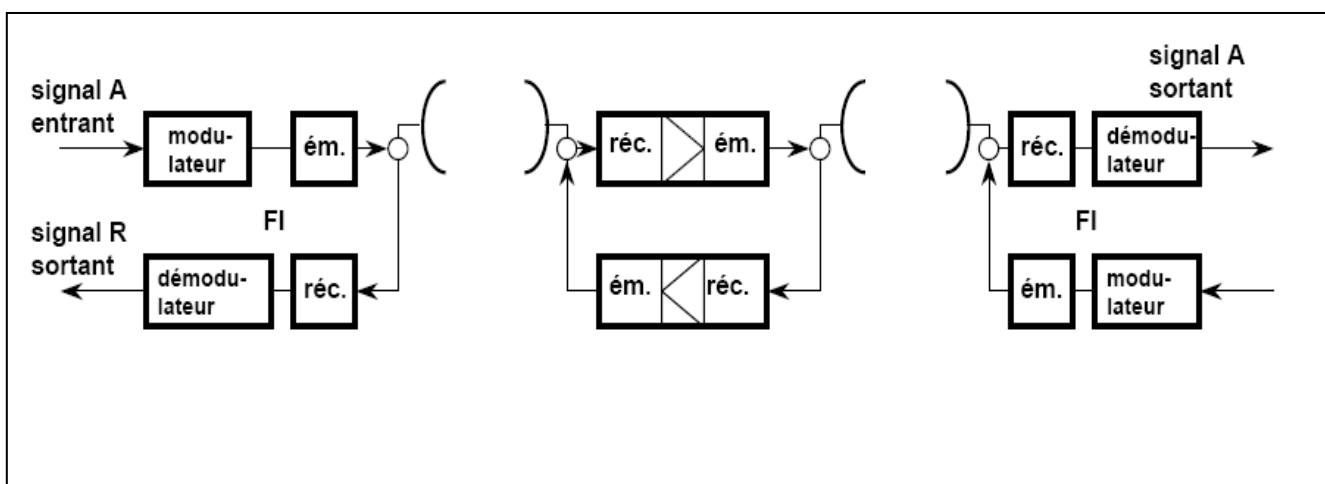
2- Structure d'un faisceau hertzien

Le faisceau hertzien est un système de type pseudo-4-fils fréquentiel car les deux sens de transmission sont portés par des fréquences différentes. Les antennes sont généralement communes aux deux sens.

La structure générale d'une liaison hertzienne (analogique ou numérique) sous forme simplifiée est :



Le schéma synoptique typique d'un faisceau hertzien



Une liaison hertzienne comprend deux stations terminales et des stations relais ; elle est composée d'un ou plusieurs bonds. On appelle station terminale, toute station située à la fin d'une liaison hertzienne. On appelle stations relais, celles situées entre les stations terminales. On appelle bond hertzien, la distance séparant deux stations consécutives.

Les conditions de propagation (distance, visibilité) obligent souvent à diviser une liaison en plusieurs bonds séparés des stations relais qui reçoivent le signal hyperfréquence ; l'amplifient et le remettent, généralement avec une autre porteuse, en direction de la station suivante. Dans des cas exceptionnels, des relais passifs (plan réflecteur) peuvent permettre de contourner un obstacle.

3-CARACTERISTIQUES

Utilisation: Ce procédé permet de transmettre des signaux d'information (téléphonie, télévision, etc.) d'un point à un autre du territoire: Liaison point à point.

Ils sont utilisés :

- En réseaux d'infrastructure
 - Téléphonie,
 - Diffusion d'émission de télévision
- En réseaux de desserte
 - Liaisons BTS - BSC en GSM
 - Boucle Locale Radio,

Ils sont aussi utilisés sur de :

➤ Grandes distances, # 50 km en liaison directe (Infrastructure téléphonique)
éventuelle nécessité de relais :

- passifs là où le relief est important (simples réflecteurs)
- actifs le signal recueilli est remis en forme, amplifié, puis retransmis

- Courtes distances (liaisons "à vue") :
 - Infrastructure GSM
 - LS

Débit théorique: Jusqu'à 155 Mbits/s.

Portée: A débit donné, la portée se réduit lorsque la fréquence du FH augmente. En général, les bandes de fréquences de 23 et 38 GHz sont utilisées pour des liaisons courtes distances (4 ou 5 km). Les bandes de fréquences de 4 et 13 GHz permettent d'atteindre des portées de quelques dizaines de kilomètres, voire 50 km en utilisant des antennes de grands diamètres.

Bande de fréquences: De 1.5 GHz à 38 GHz. Pour les opérateurs de téléphonie mobile, 5 bandes de fréquences sont allouées pour leurs faisceaux hertziens : 6, 13, 18, 23 et 38 GHz.

4-FONCTIONNEMENT

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux, numériques ou analogiques, entre deux points fixes. Il utilise des ondes radioélectriques très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. La directivité du faisceau est d'autant plus grande que la longueur d'onde utilisée est petite et que la surface de l'antenne émettrice est grande. Le faisceau est un support de type pseudo-4 fils. Les deux sens de transmission sont portés par des fréquences différentes. Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est souvent découpé en plusieurs tronçons, appelés bonds, reliés par des stations relais qui reçoivent, amplifient et remettent le signal modulé vers la station suivante.

5- AVANTAGES / INCONVENIENTS

Avantages

Installation facile et rapide.
Matériel flexible et évolutif.
Débits élevés.

Faible interférence comparée aux réseaux hertziens classiques.

Inconvénients

Exploitation sous licences, sur certaines fréquences.

Coûts des licences.

Liaison sensible aux hydrométéores, notamment lors de fortes pluies.

Distance/Débits

6-Le signal transmis

Le signal à transmettre est transposé en fréquence par modulation. L'opération de modulation transforme le signal, à l'origine en bande de base, en signal à bande étroite, dont le spectre se situe à l'intérieur de la bande passante du canal. Les modulations utilisées sont :

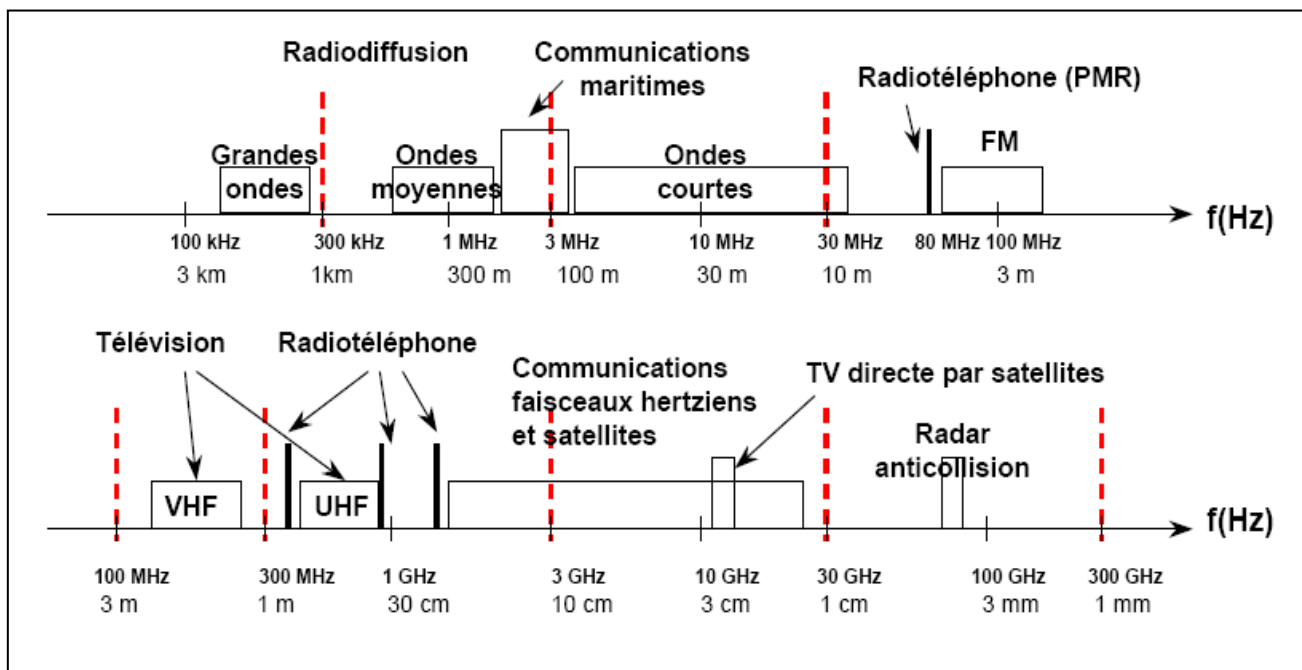
à 4 ou 16 états (QPSK, 4 QAM, 16QAM...) pour les signaux **PDH**

à 64 ou 128 états (64 QAM, 128 QAM...) pour les signaux **SDH**

Le tableau suivant résume les largeurs de bande nécessaires en fonction des débits rencontrés dans le hertzien et le type de modulation utilisée :

Norme	PDH	PDH	PDH	PDH	SDH
Débit	2x2 Mbit/s	4x2 Mbit/s	8x2 Mbit/s	16x2 Mbit/s	155 Mbit/s
4 états	3,5 Mhz	7 MHz	14 MHz	28 MHz	-
16 états	1,75MHz	3,5 Mhz	7 MHz	14 MHz	-
64 états	-	-	-	-	56MHz
128 états	-	-	-	-	28MHz

7- Spectre radio électrique



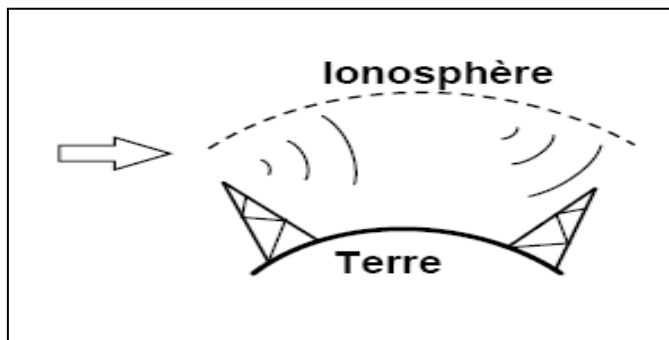
Spectre radiofréquence											
ELF	SLF	ULF	VLF	LF/OL (LW)	MF/OM (MW)	HF/OC (SW)	VHF	UHF	SHF	EHF	
3 Hz	30 Hz	300 Hz	3 kHz	30 kHz	300 kHz	3 MHz	30 MHz	300 MHz	3 GHz	30 GHz	300 GHz
100 000 km	10 000 km	1000 km	100 km	10 km	1 km	100 m	10 m	1 m	10 cm	1 cm	1 mm

8- Type de liaisons radioélectriques

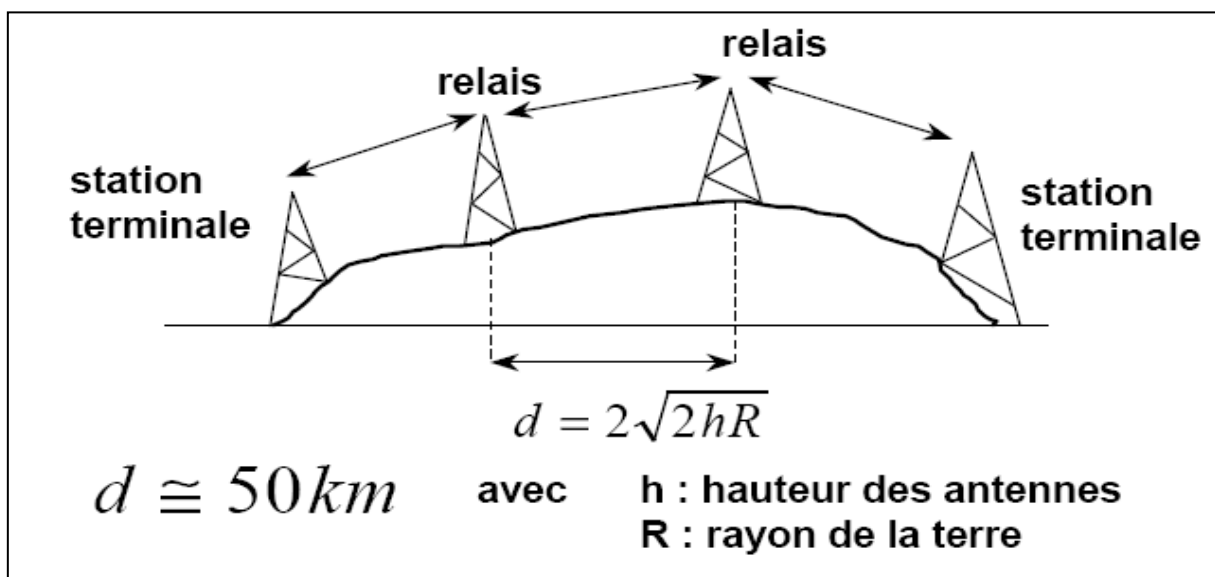
Une Liaison radioélectrique est une communication bidirectionnelle entre 2 points en vue, chacun équipé d'un émetteur et d'un récepteur, généralement en visibilité.

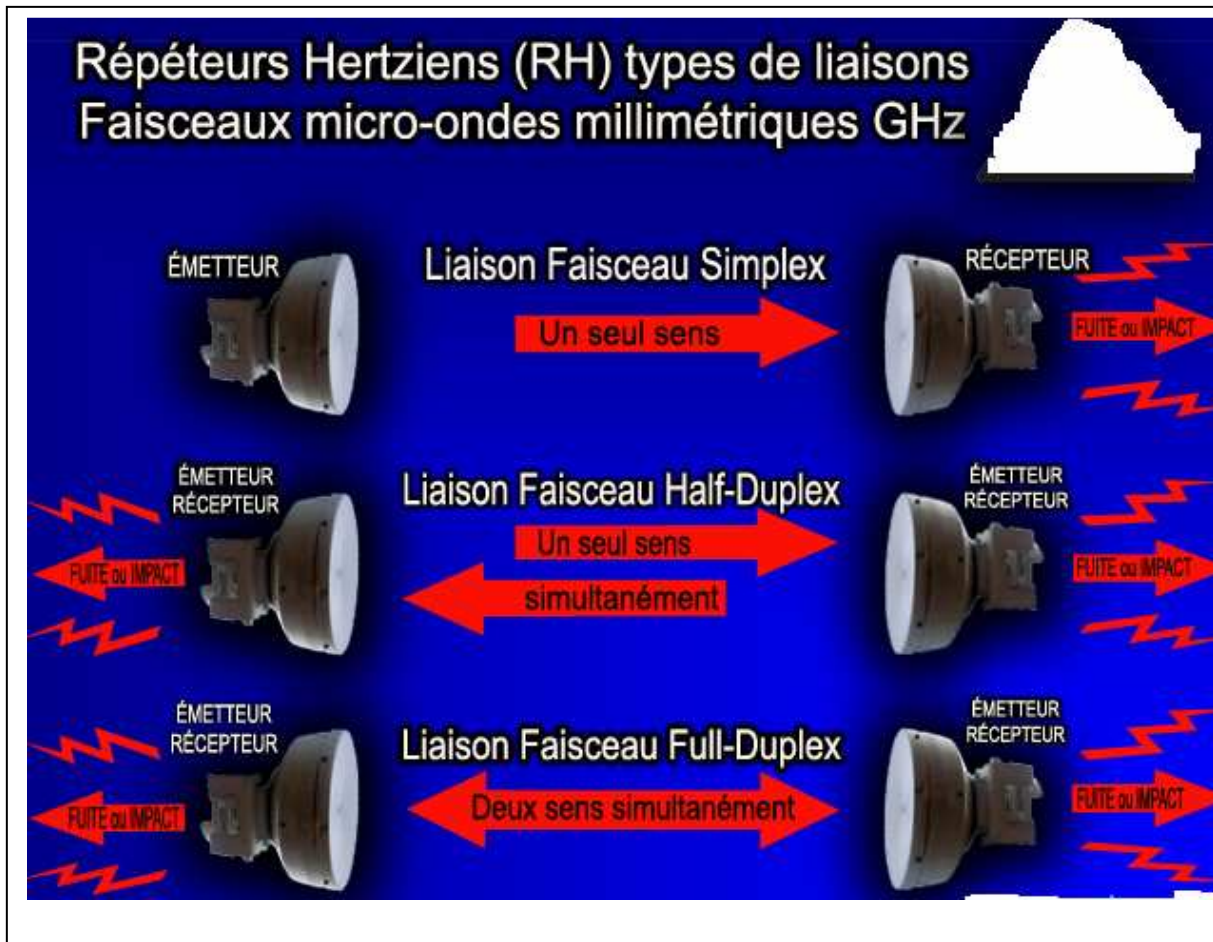
Exceptionnellement, une liaison peut s'établir en :

- utilisant la réflexion et la diffusion par l'ionosphère (haute atmosphère, 70 à 1000 km d'altitude) dans la bande des ondes courtes (3 à 25 MHz) On obtient une liaison transhorizon de très longue portée, mais de faible capacité



- Une liaison peut s'établir en visibilité directe entre plusieurs stations placées sur des points hauts.





RESUME

Les faisceaux hertziens, compte tenu des fréquences utilisées et de la directivité de la liaison, nécessitent avant toute liaison, d'effectuer un calcul pour déterminer la faisabilité, l'affaiblissement de la liaison et la puissance d'émission à utiliser.

On prend en considération le profil du terrain sur le trajet de la liaison, on trace l'ellipsoïde de Fresnel, on détermine l'affaiblissement en fonction de la présence d'obstacles ou pas, on cumule les gains des antennes, les pertes dans les câbles coaxiaux et la perte liée à la distance et l'on compare le résultat à la sensibilité du récepteur.

L'avantage de la rapidité de mise en œuvre des FH par rapport au câble présente les inconvénients des moyens radio :

- détectables,
- localisables,
- écoutes possibles,

Seul le chiffrement de jonction permettra d'atteindre un degré de confidentialité acceptable.

Avec l'évolution des technologies et le développement des matériels civils et grand public en VHF, UHF et hyperfréquences, les anciens matériels deviennent de plus en plus difficiles à utiliser compte tenu de la raréfaction des fréquences

REFERENCES

Topologie: Point à point.

Type de liaison: Liaison Sans fil.

Mode de propagation: Micro-ondes.

OBSERVATIONS

Le déploiement des liaisons FH obéit à des règles très précises d'ingénierie) imposées par le cahier des charges d'une part et par les règles du CIR d'autre part. le bilan de la liaison doit être calculé en tenant compte des paramètres suivants: Distance, situation (altitude, climat, environnement radioélectrique), puissance isotrope rayonnée équivalente, topologie du réseau (maillage, point à point). De plus, les équipements et installateurs doivent être agréés par l'AT CI. Une demande de licence doit être effectuée et la redevance dépend de la fréquence utilisée.

II- LE PLAN DE FREQUENCE

La transmission de grandes capacités nécessite l'utilisation de larges bandes passantes obtenues par modulation en fréquence de porteuses de fréquences extrêmement élevées (2 à 40 GHz). Il faut donc exploiter judicieusement le spectre des fréquences afin de l'optimiser. Dans ce sens le C.C.I.R a précisé les méthodes d'utilisation des bandes de fréquence en publiant des plans de fréquences.

1- Domaine de fonctionnement des Faisceaux hertziens

Des bandes de fréquences sont attribuées aux faisceaux hertziens. On distingue :

- Dans le domaine des ondes métriques [bande 70-80 Mhz]
- Dans le domaine des ondes décimétriques [bande 400-470 Mhz, bande 1700- 2300 Mhz]
- Dans le domaine des ondes centimétriques [bande > 1700 Mhz]

Le domaine de fonctionnement des faisceaux hertziens en visibilité réalisés avec la technologie actuelle s'étend de 1,7 Ghz à 40 Ghz

2-Etablissement des plans de fréquences

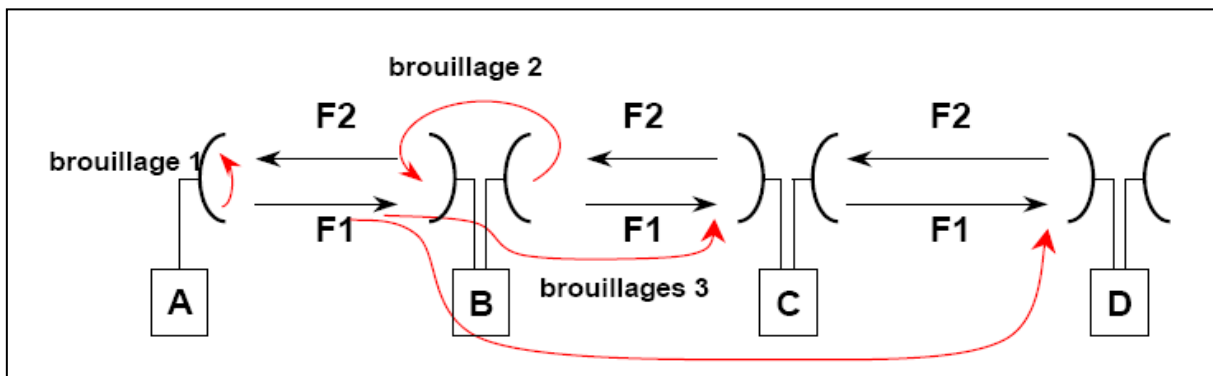
a- Généralité

Il convient d'optimiser l'utilisation du spectre radioélectrique, c'est - dire de trouver des méthodes qui permettent de transmettre le maximum de signaux sur un trajet donné, avec la bande la plus étroite possible et des brouillages acceptables. L'encombrement spectral des signaux émis et le nombre important de liaisons établies dans les pays à forte densité de population rend ce problème fondamental. Aussi, après de nombreuses études techniques, et dans un but de rationalisation globale des réseaux, le CCIR a précisé les méthodes d'utilisation des bandes de fréquences en publiant des plans de fréquences.

b- Fréquences nécessaires à la transmission bilatérale d'un signal

Il faut nécessairement deux fréquences différentes pour transmettre bilatéralement un signal sur un trajet donné ; cela évite les brouillages.

Du fait des brouillages possibles entre deux sens de transmission, les deux fréquences porteuses doivent être acheminées selon le schéma suivant :



Brouillage 1 : Le niveau fort F1 perturbe la réception du niveau faible F2 (**filtrage insuffisant**)

Brouillage 2 : Le niveau fort F1 perturbe la réception du niveau faible F1 (**lobe arrière de l'antenne**)

Brouillage 3 : Le niveau faible F1 perturbe la réception du niveau faible F1 (**résistance aux brouilleurs co-canal**)

En effet, dans une station relais, le signal est reçu à une puissance extrêmement faible qui peut descendre jusqu'à 10^{-12} W et réémis à une puissance de l'ordre du watt. Dans ces conditions, le moindre couplage entre les antennes situées sur le même support provoque des brouillages inadmissibles.

On constate que l'emploi d'antennes très directives permet de n'utiliser que deux fréquences porteuses pour la transmission bilatérale d'un signal. Dans chaque station, il y a croisement de fréquences entre les deux sens de transmission. Cette solution est excellente sur le plan de l'encombrement spectral mais est relativement onéreuse puisqu'elle nécessite l'emploi d'antennes très directives, donc d'antennes chères.

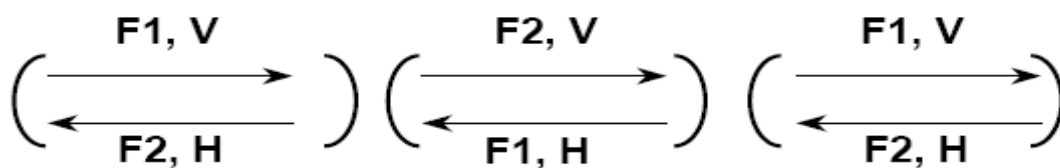
3- Transmission simultanée de plusieurs signaux (canaux)

a- Espacement minimal de canaux adjacents

Pour augmenter la capacité des systèmes de transmission par FH, on regroupe sur un même trajet la transmission de plusieurs signaux de même pièce à des fréquences voisines.

On appelle canal bilatéral, le couple de fréquence permettant la transmission bilatérale d'un signal donné. La réalisation de FH à plusieurs canaux s'effectue en tenant compte de l'impératif d'optimisation de l'utilisation du spectre. On veille à ce que les porteuses véhiculant les signaux soient les plus rapprochées possible, l'espacement minimal dépendant de la largeur du spectre de l'onde modulée, des possibilités de filtrage et de la sensibilité des signaux aux brouillages.

Pour améliorer les découplages et minimiser les brouillages, on alterne les polarisations de l'onde modulée (polarisation verticale et polarisation horizontale)

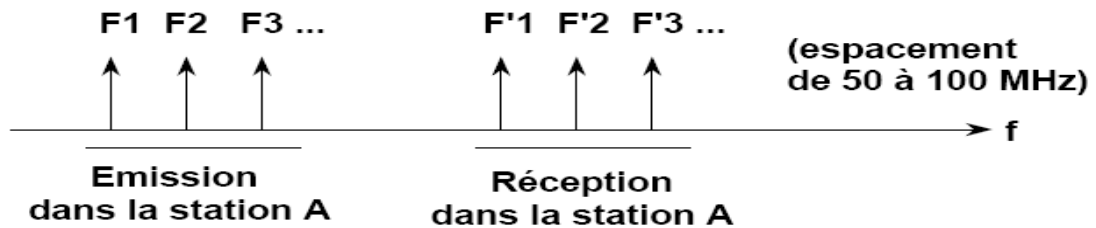


Emploi d'antennes très directives et ayant des lobes latéraux suffisamment bas.
D'où Utilisation de 2 canaux différents pour la transmission bilatérale d'un signal.

b- Demi bandes

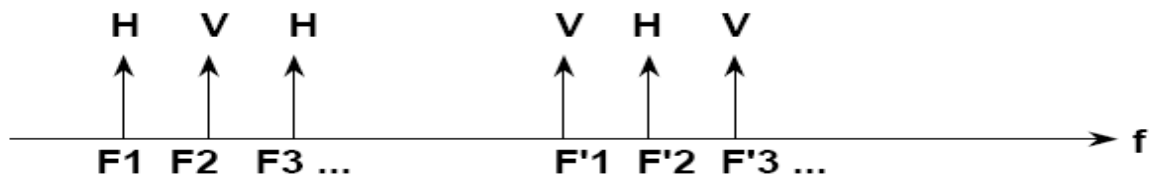
Pour éviter tout danger de brouillage d'émission sur réception par couplage dans une même station, on regroupe toutes les fréquences servant à l'émission dans une station et toutes celles servant à la réception et à éloigner ces deux groupes de telle façon qu'ils puissent être séparés par filtrage. On obtient des configurations de ce type dans une station donnée :

Canal	Fréquence d'émission	Fréquence de réception
N° 1	F_1	F'_1
N°2	F_2	F'_2
N°3	F_3	F'_3



- Grouper dans chaque station, d'une part tous les canaux servant à l'émission et d'autre part ceux servant à la réception.
- Eloigner ces 2 groupes pour qu'ils puissent être séparés par filtrage.
- Il faut une antenne et deux guides d'ondes par station.

Avec alternance des polarisations verticale et horizontale

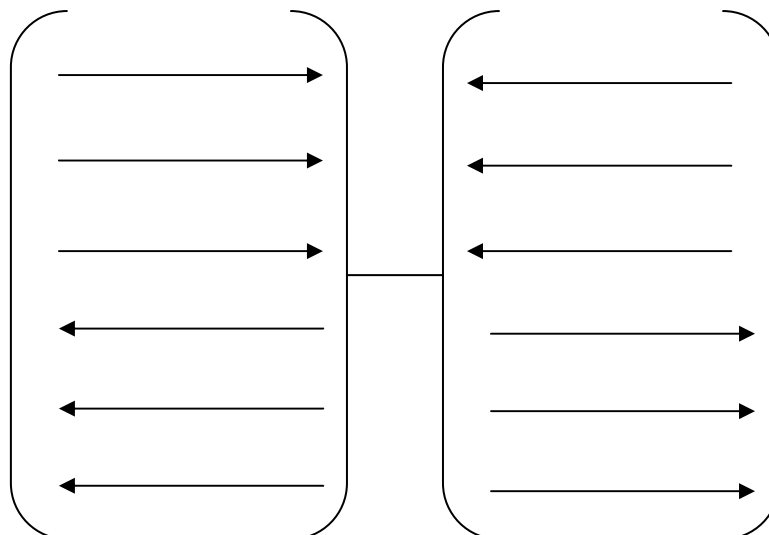


Chaque guide d'onde n'achemine qu'un seul sens de transmission .Il faut 2 antennes et 4 guides d'onde par station et par direction.

Ainsi nous avons :

- Les fréquences $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ constituent la demi bande basse
- Les fréquences $F'_1, F'_2, F'_3, \dots, F'_n$ constituent la demi bande haute

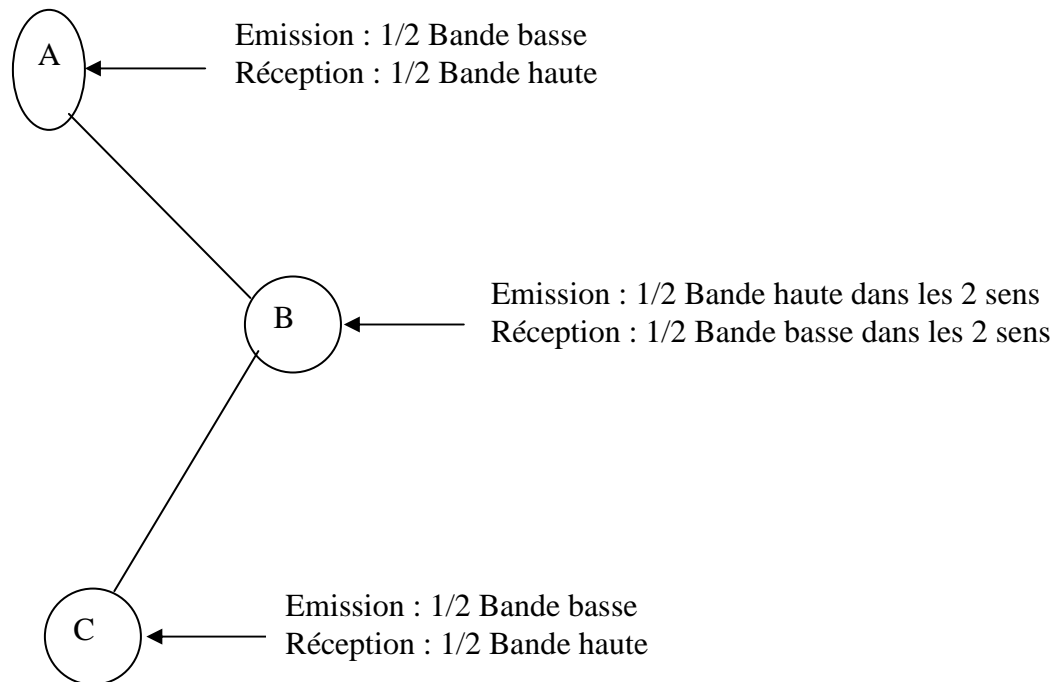
Chaque station émet dans une demi bande et reçoit dans l'autre demi bande. A la station suivante, la situation est inversée.



Station relais

NB : Pour les FH de grandes capacités et de haute qualité, il est indispensable d'employer des polarisations différentes pour les fréquences d'émission et de réception.

Géographiquement la situation se présente de la façon suivante :



c- Choix précis des fréquences porteuses

L'examen des possibilités de filtrage entre canaux permet de calculer l'espacement minimum entre canaux adjacents compte tenu des brouillages admissibles. Le choix des valeurs précises des fréquences porteuses nécessite la prise en considération d'autres contraintes qui sont :

- Possibilité de filtrage entre canaux
- Les niveaux des porteuses ne doivent pas provoquer des inter modulation
- Eviter le gaspillage du spectre par un choix judicieux des fréquences porteuses

d- Indice d'occupation spectrale d'un plan de fréquences

Pour évaluer l'efficacité d'un plan de fréquence en termes d'encombrement spectral, on définit l'indice d'occupation spectrale comme le rapport : $i = B/4n$ où **B (Khz)** est la largeur de bande totale du plan de fréquences et **n** le nombre de voies téléphoniques bilatérales de **4 Khz** qu'il est possible de transmettre en utilisant ce plan de fréquence.

Bande	Capacité par canal	Nombre de canaux	Indice d'occupation
3,8- 4,2 Ghz	960 voies analogiques	6	17,5
3,8-4,2	1260	6	13,3
5,9- 6,4	1800	8	8,7
6,4- 7,1	2700	8	8,1
12,75- 13,25	720 voies numériques	6	29

e- Exemple de plan de fréquences

Les Fréquences des FH du Réseau Téléphonique
(Liaisons à Grande Distance)

La Bande 4 GHz :

Numéro du Canal	Fréquence de la demi-bande basse	Fréquence de la demi-bande haute
1	3824,5 MHz	4037,5 MHz
2	3853,5 MHz	4066,5 MHz
3	3882,5 MHz	4095,5 MHz
4	3911,5 MHz	4124,5 MHz
5	3940,5 MHz	4153,5 MHz
6	3969,5 MHz	4182,5 MHz

La Bande 6 GHz :

Numéro du Canal	Fréquence de la demi-bande basse	Fréquence de la demi-bande haute
1	5945,20 MHz	6197,24 MHz
2	5974,85 MHz	6226,89 MHz
3	6004,50 MHz	6256,54 MHz
4	6034,15 MHz	6286,19 MHz
5	6063,80 MHz	6315,84 MHz
6	6093,45 MHz	6345,49 MHz
7	6123,10 MHz	6375,14 MHz
8	6152,75 MHz	6404,79 MHz

La Bande 6,5 GHz :

Numéro du Canal	Fréquence de la demi-bande basse	Fréquence de la demi-bande haute
1	6460 MHz	6800 MHz
2	6500 MHz	6840 MHz
3	6540 MHz	6880 MHz
4	6580 MHz	6920 MHz
5	6620 MHz	6960 MHz
6	6660 MHz	7000 MHz
7	6700 MHz	7040 MHz
8	6740 MHz	7080 MHz

La Bande 11 GHz :

Numéro du Canal	Fréquence de la demi-bande basse	Fréquence de la demi-bande haute
1	10735 MHz	11245 MHz
2	10795 MHz	11305 MHz
3	10855 MHz	11365 MHz
4	10915 MHz	11425 MHz
5	10975 MHz	11485 MHz
6	11035 MHz	11545 MHz
7	11095 MHz	11605 MHz
8	11155 MHz	11665 MHz

EXERCICES

1-Bande 5,9-6,4 Ghz

Conformément à l'avis 383-1 du CCIR, cette bande est utilisée pour la téléphonie analogique à 1800 voies par canal. Les fréquences porteuses sont données par :

- Demi bande inférieure $F_n = F_0 - 259,45 + 29,65n$
- Demi bande supérieure $F'_n = F_0 - 7,41 + 29,65n$ Avec $F_0 = 6175 \text{ Mhz}$, n est le rang du canal concerné.

Déterminer le plan de fréquences de cette bande et représenter le.

2-Bande 12,75 -13,25 Ghz

Cette bande est utilisée pour transmettre 720 voies numériques par canal, soit 52 Mbps.

Les fréquences porteuses sont données par :

- Demi bande inférieure $F_n = F_0 - 262,5 + 35n$
- Demi bande supérieure $F'_n = F_0 + 17,5 + 35n$ Avec $F_0 = 12999,5 \text{ Mhz}$, n est le rang du canal concerné.

Déterminer le plan de fréquences de cette bande et représenter le.

Pour établir un plan de fréquence sur une région,

il faut :

- Une carte de la région assez précise (IGN)
- Une base de données de sursol (précision à 25m ou 5m si possible)
- Les coordonnées des sites à relier en FH au format imposé
- X Longitude : distance vers l'Est / Greenwich
- Y Latitude : distance vers le Nord / Greenwich
- Z Hauteur d'antenne : distance depuis le niveau absolu de la Mer
- Ces coordonnées peuvent être en WGS84, RG93 (Lambert II) ou autre
- Les canaux de fréquences utilisables (canaux Arcep dédiés)
- Le taux d'indisponibilité tolérée par année d'exercice (28min ou 5.10-6)
- La tolérance d'erreur exigée (en proportion de : 10-3, 10-6, 10-9...)
- Les informations sur le matériel à déployer : antennes & ODU (celles-ci sont toujours données par le fournisseur)
- Une bon progiciel d'étude de profil HF relié aux bases de coordonnées, de sursol et des équipements (SportFH, Planet).

III- PROPAGATION EN ESPACE LIBRE

1- Généralités

Le milieu de propagation de l'onde électromagnétique influe sur la qualité de la liaison hertzienne. Si l'on n'y prend garde, ce milieu peut considérablement détériorer ou même annuler la qualité d'une liaison hertzienne.

L'espace compris entre deux antennes est libre quand il est totalement dégagé de tout obstacle matériel : la propagation s'y fait sans aucune perturbation atmosphérique, environnementale ou autre ; Les deux antennes étant considérées comme existant seules dans l'atmosphère.

Par contre, un bond en visibilité est un bond qui, malgré l'absence d'obstacle entre ses deux antennes, se trouve influencé par les conditions atmosphériques et le voisinage de la terre.

2-Les conditions de propagation

La propagation d'une onde électromagnétique en visibilité directe est tributaire :

- Des propriétés du milieu de propagation
- Des propriétés de la frontière du milieu de propagation

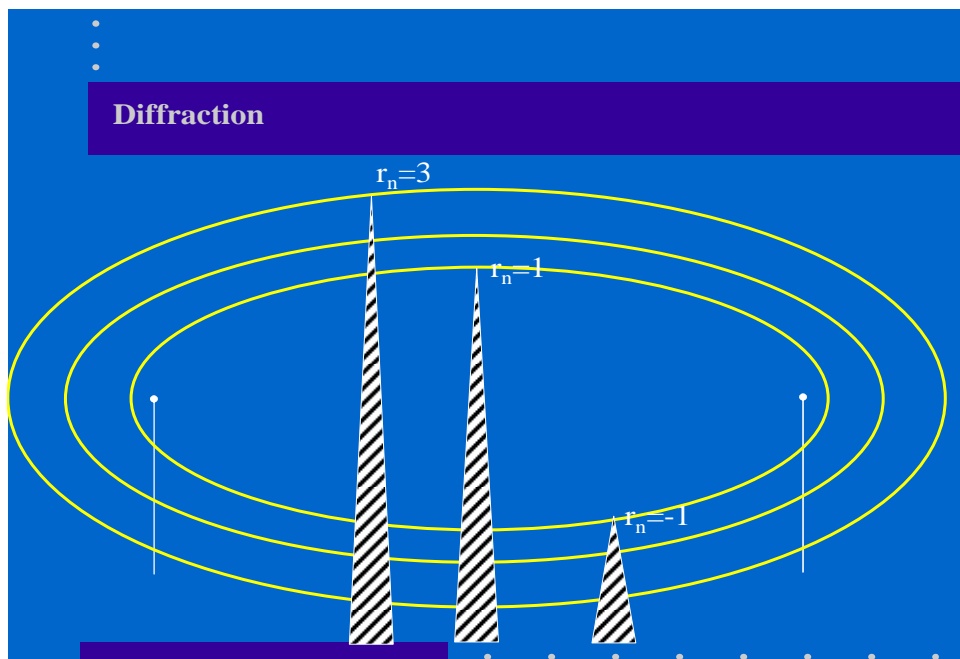
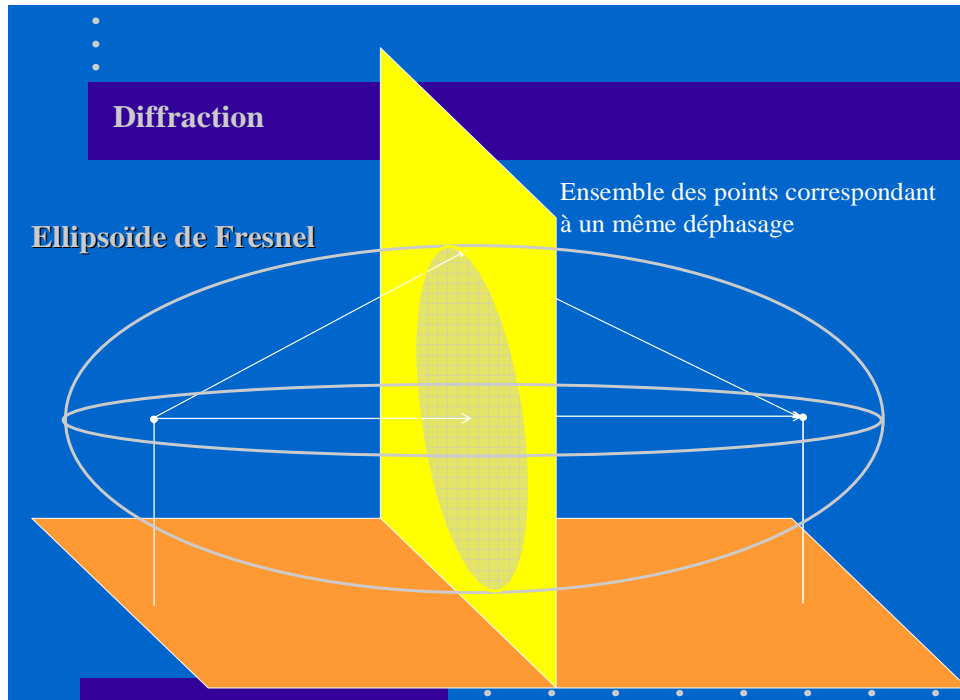
Dans ce type de propagation, il faut prendre en compte l'influence de l'atmosphère et de la terre.

a- Influence de l'atmosphère

- La réfraction

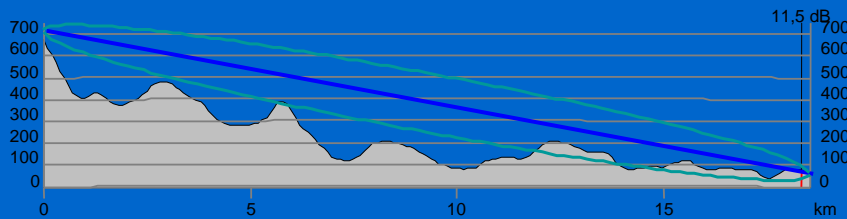
La décroissance de l'indice de réfraction avec l'altitude a pour conséquence de courber le faisceau en direction du sol, ce qui adapte mieux la transmission à la courbure terrestre et augmente la portée du faisceau.

Il y a réfraction quand un rayon électromagnétique passe d'un milieu dans un autre, d'indice de réfraction différent en changeant de direction.



Diffraction

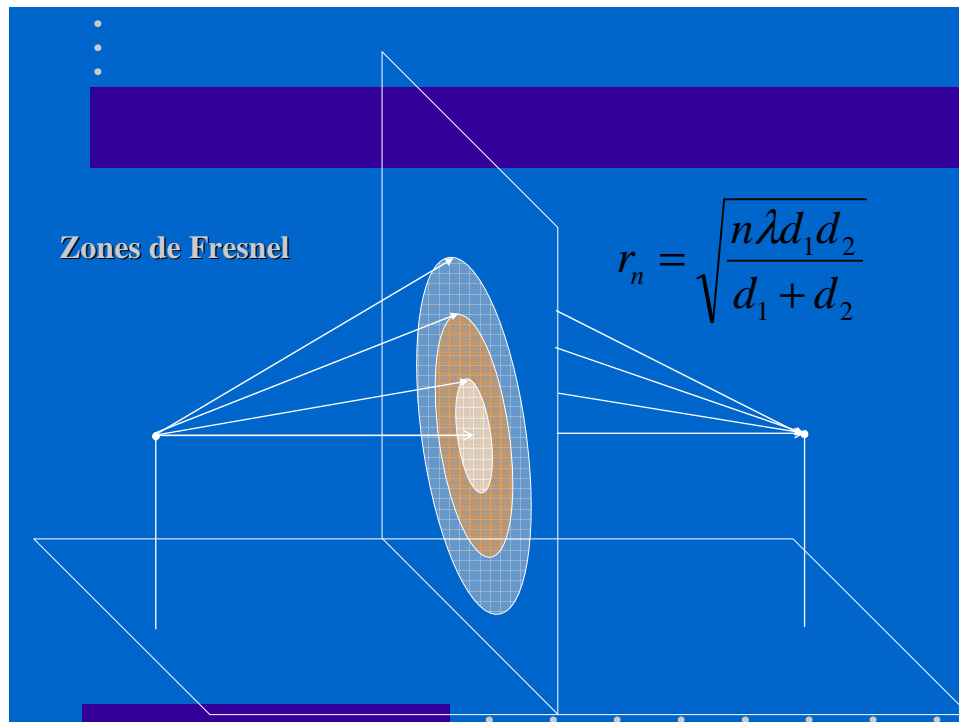
Exemple de recherche sur un profil



- La terre fictive

En technique de FH, il n'est pas possible de réaliser une liaison hertzienne en suivant la courbure des rayons électromagnétiques. On contourne la difficulté en reportant (par les calculs) la courbure des rayons électromagnétiques sur celle $1/r$ de la terre

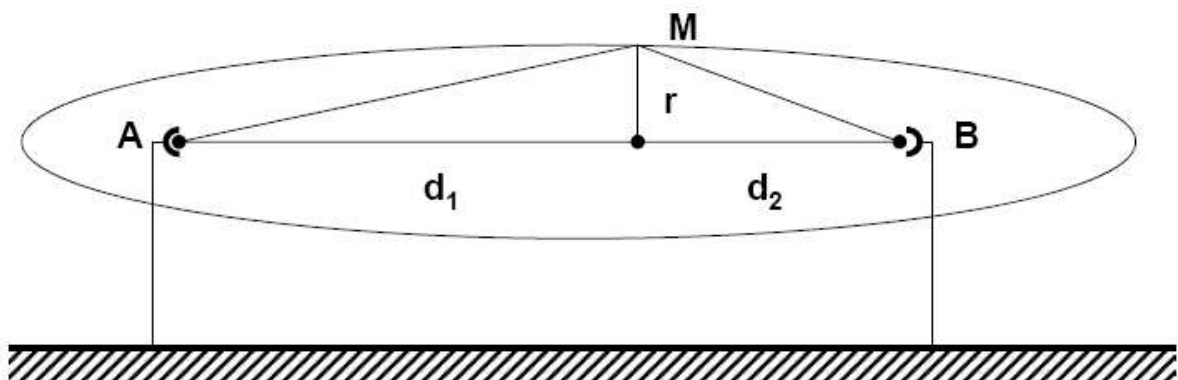
b- Influence de la terre : zone de fresnel



- Généralité

- Calcul de la hauteur sous trajet

La formule s'applique si le premier ellipsoïde de Fresnel est dégagé.



$$\boxed{MA + MB = AB + \frac{\lambda}{2}} \Leftrightarrow \Delta d = \frac{\lambda}{2}$$

$$\sqrt{d_1^2 + r^2} + \sqrt{d_2^2 + r^2} = d_1 + d_2 + \frac{\lambda}{2} \Rightarrow r \approx \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Pour tout ellipsoïde de rang n on a :

$$r_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

- Règles de dégagement

- Calcul de la hauteur d'une tour hertzienne

3- Gain d'antenne

a- Définition du gain du gain d'une antenne

Pour définir le gain d'une antenne, nous avons besoin d'une antenne de référence : l'antenne isotrope. On appelle antenne isotrope, une antenne hypothétique, ponctuelle, qui rayonnerait son énergie dans toutes les directions avec la même intensité.

Par rapport à une antenne isotrope, physiquement impossible à réaliser, on définit le gain

$G_e(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction donnée :

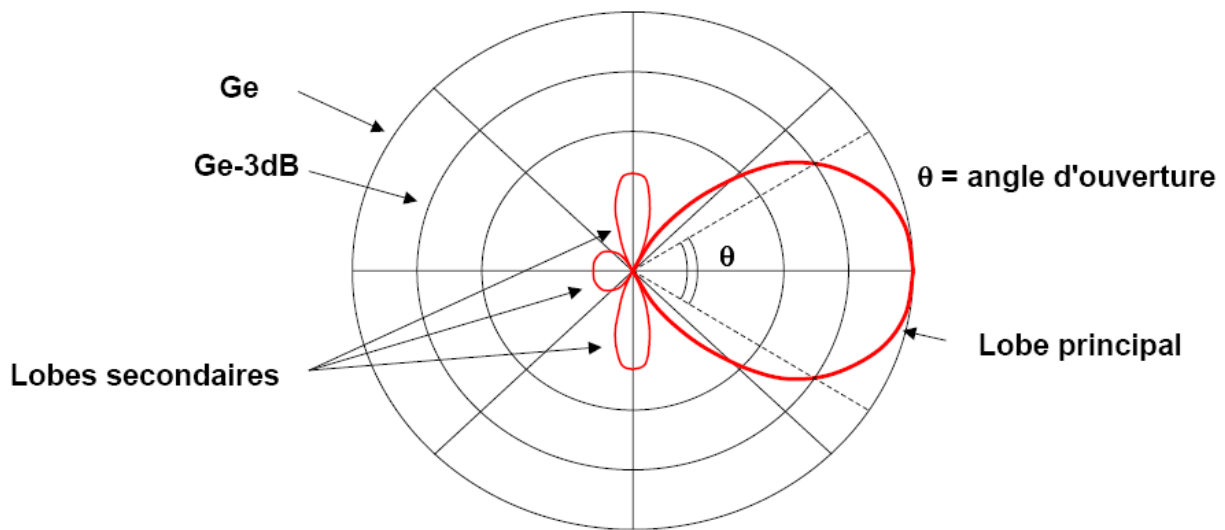
$$P = P_e G_e(\theta, \varphi)$$

G_e est exprimé en **dB**i (db par rapport à une antenne isotrope). Le gain prend en compte les pertes, ce qui n'est pas le cas de la directivité Δ qui ne prend en compte que ce qui est rayonné. G et D sont liés par la relation

$$G = \eta \Delta$$

dans laquelle η est le facteur d'illumination ou rendement.

Diagramme d'antenne



Puissance captée par une antenne

La puissance captée par une antenne en un point de densité surfacique p est de la forme $P_r = p S_r$ où S_r représente la surface équivalente de l'antenne.

$$S_r = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$$

Cette surface est liée au gain G_r par la relation :

$$S_0 = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

est donc la surface équivalente de l'antenne isotope (pour laquelle $G_r = 1$)

La surface équivalente n'a donc aucun lien avec la surface physique de l'antenne.

Les antennes paraboliques de diamètre D ont une ouverture angulaire λ/D (cas idéal) et un gain

$$G = \eta \frac{S}{S_r} = \eta S \frac{4\pi}{\lambda^2} = \eta \pi^2 \frac{D^2}{\lambda^2}$$

Température de bruit d'une antenne

La température de bruit d'une antenne dépend de la façon dont elle est orientée. En effet, la Terre est un corps noir qui rayonne à 300°K, le ciel ayant quant à lui une température de bruit très basse, sauf en direction de certains corps célestes (pour le Soleil, 105°K à 4 GHz).

Pour un FH, la température de bruit sera pratiquement égale à 300°K, ce qui ne sera pas le cas pour une antenne "satellite".

L'antenne étant la source de bruit, il est nécessaire d'avoir le moins de pertes possible entre elle et le préamplificateur, donc de soigner la connectique.

Quelques définitions

$$dBm = 10 \cdot \log \left(\frac{\text{puissance}}{1mW} \right)$$

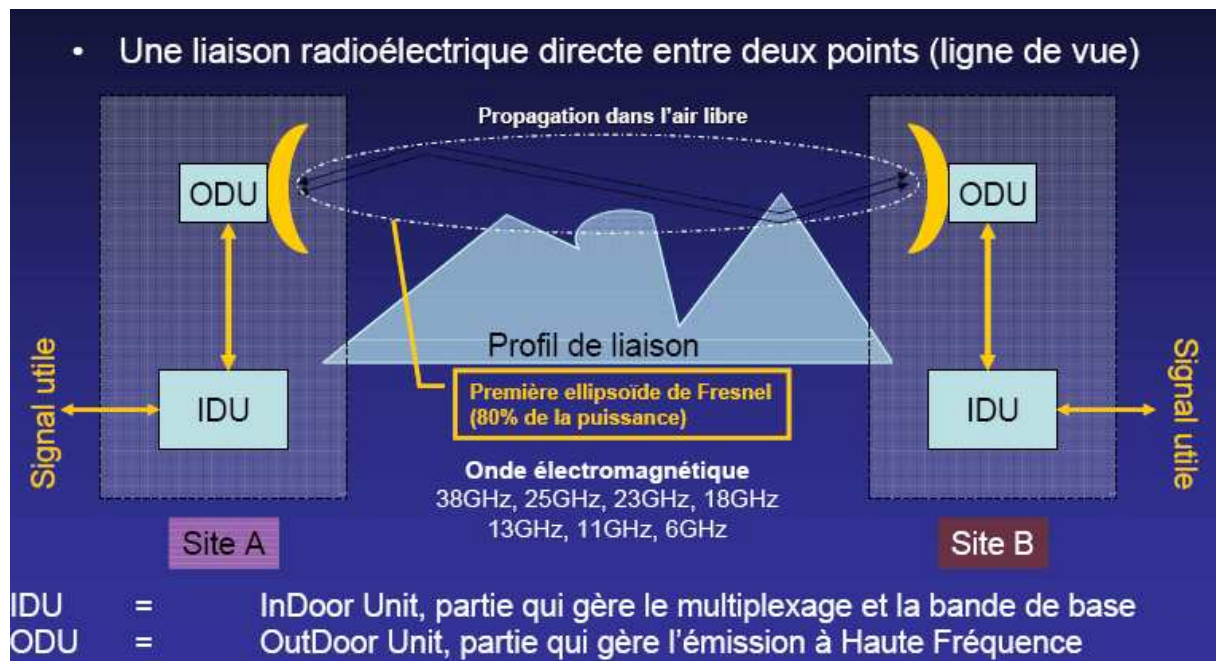
$$dBW = 10 \cdot \log \left(\frac{\text{puissance}}{1W} \right)$$

Exercice

Une antenne parabolique a un diamètre $D = 50\text{cm}$ et un rendement $\eta = 0,5$.
 Quelle est sa directivité à 4 GHz ?
 Quel est son gain à 4 GHz ?
 Mêmes questions à 20 GHz.

IV Le Bilan de Liaison

1- Notions de base



a- Données de base

- P_r = Puissance reçue (dBm)
- P_t = Puissance transmise (dBm)
- G_t = Gain d'antenne émission (dBi)
- p diverses = pertes diverses (dB)
- α = perte de propagation (dB)
- G_r = Gain d'antenne réception (dBi)
- f = bande de fréquence (canal)
- D = distance linéaire entre 2 points
- K = constante de rotondité
- K vaut 1,33 en France, mais varie de 1 à 1,66 (pôle/équateur)

b- Les pertes diverses peuvent se décomposer en : pertes de lignes, pertes de désadaptations, dépointage à l'émission et à la réception, filtrage, dépolarisation (rotation), etc. selon le détail du système étudié.

- La perte de propagation peut s'exprimer de diverses façons, à partir de:

$$\alpha = -20 \cdot \log_{10}(\lambda / 4\pi R)$$

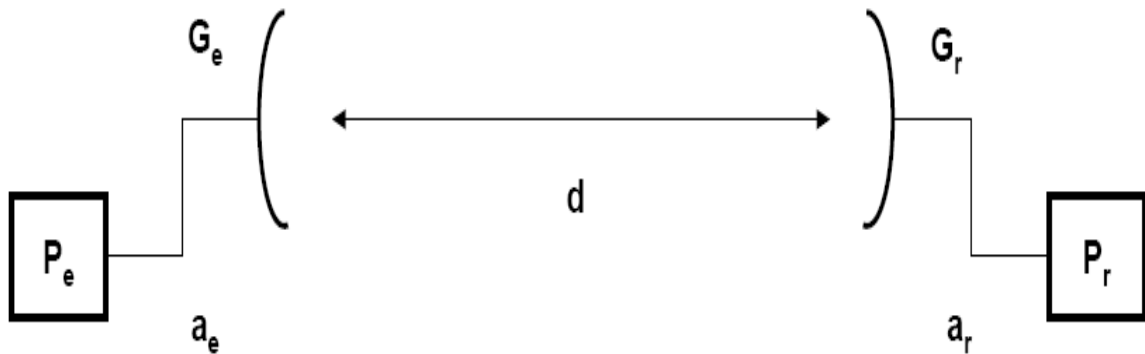
• Soit, en unités courantes, une atténuation de :

$$\alpha(\text{dB}) = 32,45\text{dB} + 20 \cdot \log_{10} [\text{fréquence (MHz)}] + 20 \cdot \log_{10} [\text{distance(km)}]$$

• Cela donne la formule globale : $P_r = P_t + G_t - A(f,D,K) + G_r$ avec

$$A(f,D,K) = \alpha(f,D,K) + p \text{ diverses}$$

2-Budget de liaison



P_e : Puissance de l'émetteur

a_e : Pertes de couplage

G_e : Gain de l'aérien par rapport à une antenne isotrope

P_r : Puissance recue

a_r : Pertes de couplage

G_r : Gain de l'aérien par rapport à une antenne isotrope

$$P_r = P_e G_e \frac{1}{a_e} \frac{1}{a_r} G_r \frac{\lambda^2}{16\pi^2 d^2}$$

3-Atténuation en espace libre

Avec P_r/P_e l'atténuation est donc égale à :

$$\frac{P_r}{P_e} = G_e \frac{1}{a_e} \frac{1}{a_r} G_r \frac{\lambda^2}{16\pi^2 d^2}$$

$$= 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda} + 10 \log a_e + 10 \log a_r - 10 \log G_e - 10 \log G_r$$

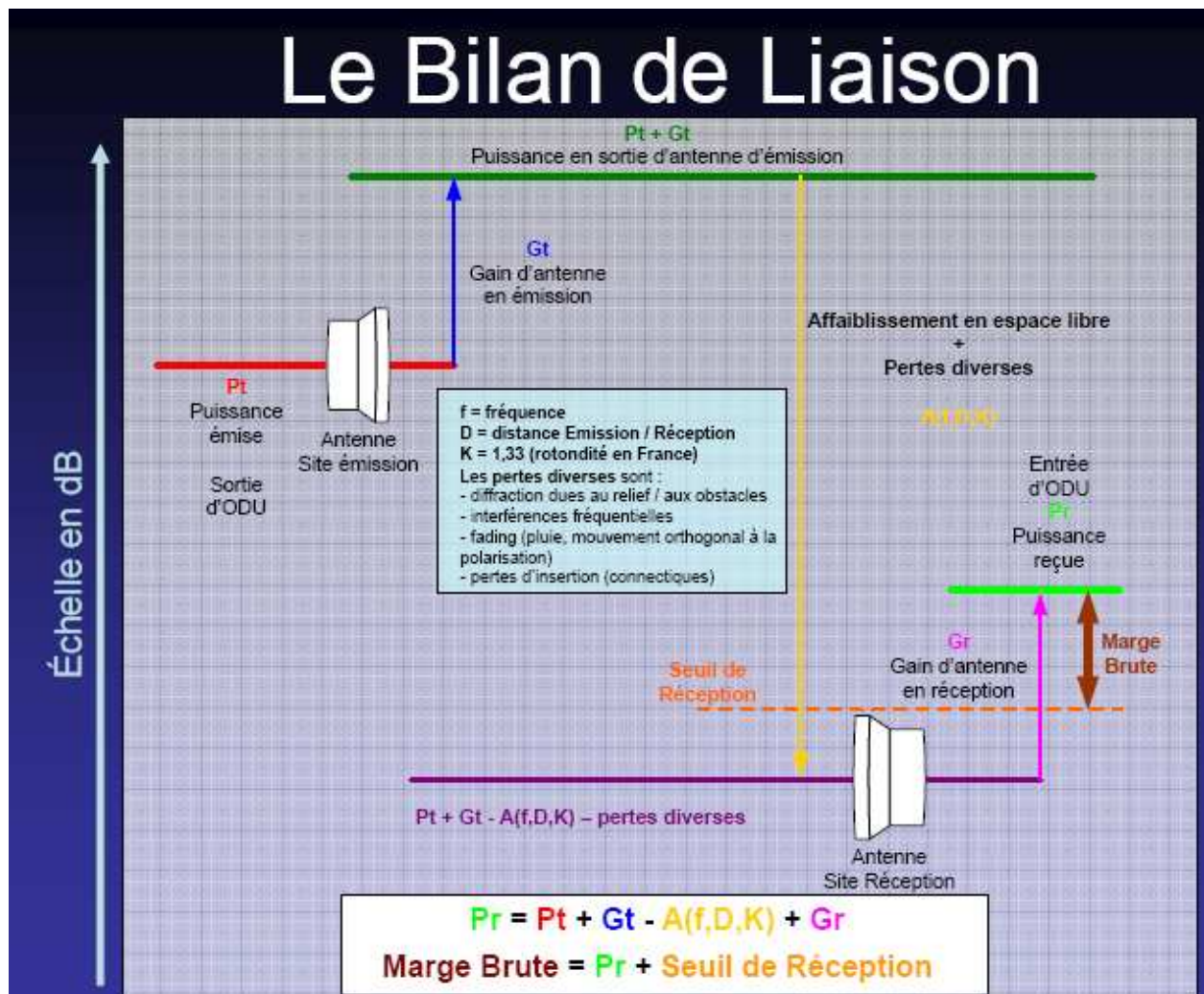
L'atténuation en espace libre est donc égale à :

$$20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f + 20 \log d$$

Avec f en MHz et d en km

L'atténuation en espace libre est aussi

$$32,44 + 20 \log f + 20 \log d$$



4- Présentation du bilan de liaison

Les caractéristiques des équipements d'extrémité à prendre en compte pour le calcul du bilan énergétique sont :

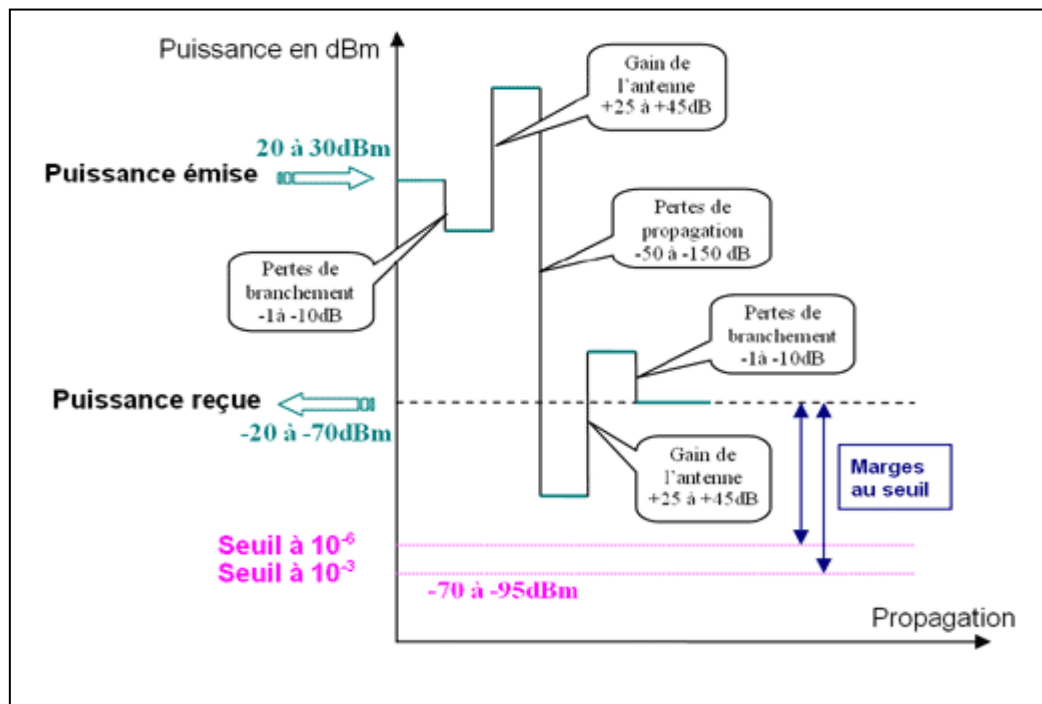
Puissance d'émission : C'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer. Elle est couramment comprise entre 20 et 30dBm.

Seuils de réception : Définis par rapport à un taux d'erreur binaire donné ($TEB=10^{-3}$ ou 10^{-6}), ils traduisent la capacité pour le récepteur à traiter le signal affaibli après propagation (vis-à-vis du bruit thermique). Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation, ils sont généralement compris entre -70 et -95dBm

Pertes de branchement (guide d'onde, connectique...) : Pour les équipements ne présentant pas d'antennes intégrée, il est nécessaire de relier par un câble coaxial ou un guide d'onde l'émetteur/récepteur à l'antenne. Ces déports induisent des pertes linéiques de 1 à plusieurs dB, auxquels s'ajoutent les pertes dues aux connecteurs et autres éléments de branchements.

Gain de l'antenne : Les antennes, principalement paraboliques, apportent un gain de puissance (de l'ordre de 25 à 45dB) d'autant plus grand que leur diamètre est important. La directivité du faisceau augmente avec la bande de fréquence et les diamètres de l'antenne.

L'obtention du bilan de liaison repose sur le constat simple : la station distante doit recevoir un signal tel qu'elle puisse le retranscrire avec un taux d'erreur acceptable, au regard des exigences de qualité de la liaison. Le bilan de liaison, sommation de la puissance émise et de tous les gains et les pertes rencontrés jusqu'au récepteur, doit donc être tel que le niveau de signal reçu soit supérieur au seuil de réception.



Cependant, si les caractéristiques d'émission/réception du FH jusqu'à l'antenne peuvent être connus avec précision, il est en revanche impossible de connaître à tout instant les caractéristiques du milieu traversée par les ondes.

5- Définition des marges

Les critères de performance d'une liaison définissent les pourcentages de temps alloués au cours desquels le signal doit être reçu avec une qualité et une disponibilité suffisantes. Etant donné les conditions fluctuantes de propagation qui peuvent dégrader voire interrompre occasionnellement la liaison, on définit en réception les marges de fonctionnement permettant de remplir ces critères.

La marge au seuil : Pour compenser la majorité des pertes occasionnelles de puissance (évanouissements non sélectifs) que subit le signal, la réception se fait avec une marge appelée marge uniforme ou marge au seuil. C'est la puissance que l'on pourra perdre par dégradation des conditions de propagation sans perdre pour autant la qualité de la liaison.

La marge sélective : Comme on l'a vu, le signal ne subit pas qu'un affaiblissement au cours de la propagation. Il subit également des distorsions. Ceci complique encore la tâche de réception. Pour traduire la capacité d'un équipement à traduire correctement un signal entaché de distorsion, on introduit une marge dite sélective, qui découle de la caractéristique de signature du récepteur.

La présence d'un perturbateur (par exemple une autre liaison émettant sur une fréquence trop proche) peut également amener une dégradation du seuil effectif du récepteur, et réduit par conséquent ces marges.

Exemple 1 : Calcul d'un bilan de liaison sur 10 GHz

Avant de se lancer dans l'installation d'un lien 10 GHz, il peut être bon de dégrossir le bilan de liaison, c'est à dire d'estimer par le calcul quel sera le signal reçu. Ce calcul s'entend en propagation en vision directe sans obstacle, même réfléchissant. Les calculs se font directement en décibels:

Puissance d'émission

Elle s'exprime en **dBw** ou en **dBm**, c'est à dire en décibels par rapport au Watt ou par rapport au milliwatt; vu les puissances que nous pratiquons, nous parlerons en dBm.

La puissance en **dBm** est égale à dix fois le logarithme de la puissance en milliwatts:

$$P_e \text{ (dBm)} = 10 \cdot \log (P_e \text{ (mW)})$$

En dessous de 1mW on obtient des valeurs négatives, par exemple 0,1mW correspondent à -10dBm.

Pe	dBm
----	-----

1 mW	0
10 mW	10
100 mW	20
1 W	30
10 W	40
100 W	50

Pour les puissances intermédiaires, on peut utiliser le tableau ci-dessous: à gauche le facteur multipliant la puissance, à droite les dB à ajouter

Facteur multiplicatif de la puissance	Valeur à ajouter aux décibels
1,1	0,4
1,2	0,8
1,3	1,1
1,4	1,5
1,5	1,8
1,6	2
1,7	2,3
1,8	2,6
1,9	2,8
2	3
3	4,8
4	6
5	7
6	7,8
7	8,5
8	9
9	9,5

Exemples:

100 mW correspondent à 20 dBm

150 mW correspondent à 21,8 dBm

500 mW correspondent à 27 dBm

Gain d'une antenne:

Il s'agit du gain iso, c'est en général celui donné par le vendeur, car il est plus élevé que celui par rapport au doublet demi onde (2,15 dB entre les deux);

Pour des paraboles ou des cornets, on peut l'estimer par le calcul si l'antenne est correctement réglée;

On a :

$$G(\text{dBi}) = 10 \cdot \log(0,5 \cdot 4 \cdot \pi \cdot S / \lambda^2)$$

pour les paraboles prime focus et les cornets,

On a :

$$G(\text{dBi}) = 10 \cdot \log(0,6 \cdot 4 \cdot \pi \cdot S / \lambda^2)$$

pour les paraboles offset.

S est la surface de l'ouverture de l'antenne, c'est celle du rectangle pour le cornet, c'est celle du disque pour la parabole; pour la parabole offset, on prend le petit diamètre pour le calcul, pas le grand! Ce qu'on appelle parabole de 80 n'est souvent qu'une parabole de 60

Parabole		
(petit) diamètre	prime focus (dBi)	offset (dBi)
20 cm	23,4	24,2
30 cm	27	27,8
40 cm	29,4	30,2
50 cm	31,4	32,2
60 cm	33	33,8
80 cm	35,4	36,2
1 m	37,4	38,2
1,2 m	39	39,8
1,5 m	41	41,8
2 m	43,4	44,2

Cornet	
surface (cm²)	Gain (dbi)
35	14
45	15
55	16
70	17
90	18
110	19
140	20

180	21
220	22
280	23
350	24
450	25

Pertes en ligne:

Que ce soit coté émission ou coté réception, les pertes dues aux lignes d'alimentation se calculent, se mesurent ou s'estiment à partir de données constructeur; exprimées en décibels, ce sont des nombres négatifs.

Atténuation de propagation:

C'est l'atténuation de l'onde due à son expansion dans l'espace, cette atténuation dépend de la distance et de la fréquence, elle est donnée en décibels par la formule

$$\text{Att(dB)} = 20 \cdot \log(\lambda/4 \cdot \pi \cdot d)$$

C'est un nombre négatif.

Lambda et **d** la distance étant exprimés dans la même unité. Le tableau ci-dessous donne la valeur de cette atténuation pour diverses distances.

Atténuation de propagation	
Distance (km)	(dB)
0,1	-92
1	-112
10	-132
100	-152

Pour les distances intermédiaires, on peut utiliser le tableau ci-dessous: à gauche le facteur multipliant la puissance, à droite les dB à ajouter

Facteur multiplicatif de la distance	Valeur à ajouter aux décibels
1,1	-0,8
1,2	-1,6
1,3	-2,2
1,4	-3
1,5	-3,6

1,6	-4
1,7	-4,6
1,8	-5,2

Exemples:

10 km correspondent à -132 dB

15 km correspondent à -135,6 dB

50 km correspondent à -146 dB

Calcul d'un bilan:

40 mW à l'émission -> +16 dBm

Perte en ligne estimée à 2 dB -> -2 dB

Cornet 20 dBi -> +20 dB

Atténuation de propagation sur 12 km -> = -133,6

Parabole de réception offset petit diamètre 60 cm -> +33,8dB

Pas de perte en ligne à la réception (tête au foyer)

Le bilan est donc $16 - 2 + 20 - 133,6 + 33,8 = -65,8$ dBm

Exemple 2 : Calcul d'un bilan de liaison

Les données sont les suivantes :

Fréquence6GHZ

Longueur du bond.....50 Km

Puissance d'émission.....10W, soit 40 dbm

Gain des antennes.....45,5 dBchacune

Longueur des guides ondes.....30 m à l'émission, 70 m à la reception

Perte dans les guides5 dBpar 100 m

Perte dans les branchements (à l'émission + à la réception)....5,9dB

Calculer la puissance reçue.

Exercice I

Soit une onde de fréquence 6 GHz, la longueur du bond est de 50 km. La puissance nominale de l'émetteur est de 10 mW, le gain de chacune des antennes d'émission et de réception est de 25 dBi.

La longueur du guide d'onde de l'émission est de 30 m et celle de la réception est de 70 m. La perte dans les guides d'onde est de 0.05 dB/m. Les pertes de branchement dans l'émetteur s'élèvent à 3 dB et dans le récepteur à 2,9 dB.

1. - Quelle est la PIRE de l'émetteur?
2. - Quelle est la puissance disponible au récepteur?
3. - La sensibilité du récepteur est de -100 dBm, reçoit-on le signal?

4. - Quelle est la portée possible?

Exercice II

On donne les caractéristiques suivantes pour une liaison par faisceau hertzien implantée en Côte D'ivoire :

La fréquence = 6 GHz,

La longueur du bond = 55 km,

Le gain des antennes $G = 43,7$ dB,

Les pertes par branchement des blocs E/R = 3 dB,

Les pertes par branchement des équipements (sur les tours en hauteur) = 2 dB,

La puissance crête à l'émission $PE = 33$ dBm.

- 1- Quelle est la longueur d'onde du signal émis?
- 2- Quel est l'affaiblissement de propagation ?
- 3- Quelle est la puissance émise en mW?
- 4- Quelle est la puissance reçue en mW et dBm?

V-Les antennes et caractéristiques

Afin de générer des ondes électromagnétiques, il est nécessaire de disposer d'éléments transformant les signaux électriques en onde et réciproquement selon que l'antenne est utilisée en émission ou en réception. Les éléments de réception et de transmission d'ondes hertziennes sont des antennes.

En radioélectricité, une **antenne** est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou, de capter (récepteur), les ondes électromagnétiques.

L'antenne est un conducteur électrique plus ou moins complexe, généralement placé dans un endroit dégagé.

1- Principes de fonctionnement

Toutes les antennes radioélectriques, en particulier le **doublet**, sont des dipôles électriques se comportant comme des circuits résonants.

a- Bande de fréquence d'utilisation

La fréquence de résonance d'une antenne dépend d'abord de ses **dimensions** propres, mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés. Par rapport à la fréquence de résonance centrale de l'antenne, on tolère un affaiblissement de 3 décibels, affaiblissement qui détermine la

fréquence minimum et la fréquence maximum d'utilisation ; la différence entre ces deux fréquences correspond à la bande passante.

Surtout en réception, il est fréquent qu'une antenne soit utilisée largement en dehors de sa bande passante. C'est le cas des antennes d'auto-radio dont la fréquence de résonance se situe souvent à plus de 200 MHz et que l'on utilise pour l'écoute de la bande de radiodiffusion « FM » (bande des Ondes Ultras Courtes, bande OUC) vers 100 MHz, voire la gamme des grandes ondes ne dépassant pas quelques centaines de kilohertz avec une longueur d'onde de l'ordre du kilomètre.

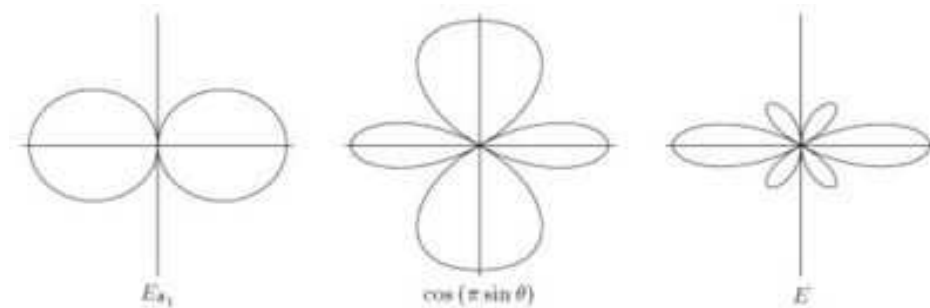
Certaines antennes dites multi-bandes peuvent fonctionner correctement sur des segments discontinus de bande de fréquences sans dispositif particulier. D'autres nécessitent l'emploi d'un circuit adaptateur d'impédance pour fonctionner correctement.

b- Polarisation

La polarisation d'une antenne est celle du champ électrique \mathbf{E} de l'onde qu'elle émet. Un dipôle demi-onde horizontal a donc une polarisation horizontale. Certaines antennes ont une polarisation elliptique ou circulaire comme l'antenne hélice ou la double-yagi dont les plans sont perpendiculaires. Le fait d'utiliser deux antennes de polarisations différentes pour réaliser une liaison introduit des pertes supplémentaires importantes.

c- Directivité et diagramme de rayonnement

L'antenne isotrope, c'est-à-dire rayonnant de la même façon dans toutes les directions, est un modèle théorique irréalisable dans la pratique. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions étant privilégiées : ce sont les lobes de rayonnement. Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser ces lobes dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important. La proximité et la conductibilité du sol ou des masses conductrices environnant l'antenne peuvent avoir une influence importante sur le diagramme de rayonnement.



Différents patrons d'émission d'antennes

➤ Directivité

La directivité de l'antenne dans le plan horizontal est une caractéristique importante dans le choix d'une antenne.

- Une antenne équidirective ou omnidirectionnelle rayonne de la même façon dans toutes les directions du plan horizontal.
- Une antenne directive possède un ou deux lobes nettement plus importants que les autres qu'on nomme lobes principaux. Elle comporte également des lobes secondaires qu'on tente de minimiser. Elle sera d'autant plus directive que le lobe le plus important sera étroit. Si la station radio captée ne se trouve pas toujours dans la même direction il peut être nécessaire d'orienter l'antenne, manuellement ou en la faisant tourner avec un moteur de positionnement.

Les antennes de poursuite de satellites sont orientables en azimuth (direction dans le plan horizontal) et en site (hauteur au-dessus de l'horizon). La radiogoniométrie utilise des antennes directives pour déterminer la direction d'un émetteur. Les radars utilisent des antennes dont le patron d'émission et de réception est hautement directionnel.

VI- LES APPLICATIONS

Faisceau Hertzien PDH 2-16 E1

Spécifications

La gamme de faisceaux hertziens FlexiHopper de NOKIA se décline en trois familles: NOKIA FlexiHopper 4E1, NOKIA FlexiHopper et NOKIA FlexiHopper Plus.

Les FlexiHopper sont des systèmes de boucle locale radio. Flexibles et fiables, ils peuvent être utilisés dans plusieurs types de réseaux de transmission: téléphonie mobile, réseaux fixes, réseaux privés...

Ils offrent des fonctionnalités flexibles telles que la sélection de la capacité et de la modulation ce qui permet de continuer à les exploiter quelque soit l'évolution du réseau.

Les Faisceaux Hertziens FlexiHopper sont disponibles dans les bandes de fréquences suivantes: 7, 8, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32 et 38 GHz.

La capacité de la transmission radio des FlexiHopper est modifiable de manière logicielle entre 2x2, 4x2, 8x2 ou 16x2 Mbit/s

La configuration du FlexiHopper est constituée d'un module externe, et d'un module interne ce qui permet de réduire au maximum les besoins en espace et en équipement.



Nokia FlexiHopper

Les avantages principaux du NOKIA FlexiHopper sont:

- Une grande fiabilité, donc un coût de maintenance très bas
- Capacité flexible; évolutions logicielles peu coûteuses
- Un module interne supporte plusieurs modules externes; économie d'équipement et d'espace, possibilité de configurations redondantes, protégées (1+0, 1+1)
- Basse consommation et gestion automatique de la puissance d'émission
- Management à distance; visites sur site très rares
- Mode de modulation modifiable logicielle ment ce qui permet une adaptation aux besoins du réseau et aux changements des régulations
- Coût total de possession bas

Nokia FlexiHopper 4E1



- Faisceau hertzien d'une capacité de 2 à 4 E1
- Possibilité d'extension à 16 E1 avec des licences d'extension
- Modulation à 4 états
- Possibilité d'extension à une modulation à 16 états avec des licences de modulation

Nokia FlexiHopper



- Faisceau hertzien d'une capacité de 2 à 16 E1
- Modulation à 4 états
- Possibilité d'extension à une modulation à 16 états avec une licence de modulation

Nokia FlexiHopper Plus



- Faisceau hertzien d'une capacité de 2 à 16 E1
- Sélection entre une modulation de 4 ou de 16 états

FIU 19E Indoor Unit



FIU 19E est une unité intérieure pour la connexion des unités extérieures. Elle s'intègre facilement aux réseaux managés via Q1 et/ou SNMP.

Elle offre une interface SNMP pour les systèmes de management commerciaux. Le management intègre aussi bien la gestion d'erreurs que la configuration. FIU 19E est connecté au système de management via le LAN. Ceci permet des connexions et un téléchargement de logiciels rapides.

Avantages:

- La connexion par faisceau hertzien de sites distants est facile et le déploiement rapide
- Intégration aux systèmes de management SNMP tierces
- Management facilité grâce au LAN et au routage IP
- Téléchargement de logiciels et interactions avec le HopperManager rapide
- Routage IP pour le management de la boucle et pour la connexion d'équipement externe au même canal de management

Caractéristiques principales



Configuration FlexiHopper

La configuration de base du **FlexiHopper** est constituée d'une unité interne et d'une unité externe, connectées via **un seul câble le FlexBus** sur lequel transitent l'alimentation et les signaux de transmission. L'antenne, disponible en plusieurs tailles (de 20cm à 300cm) se connecte directement à l'unité externe ou via un guide d'onde.

Caractéristiques de l'unité interne

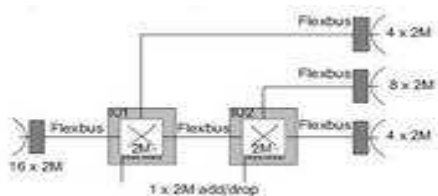


FlexiHopper unité interne

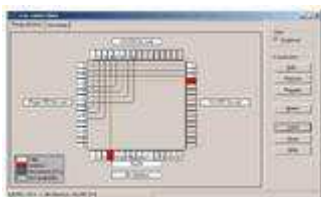
L'unité interne, au format 19" a une épaisseur de 2 à 3U. Ces unités sont à **très forte intégration**, ce qui permet un **gain de place et une fiabilité accrue**. Les interconnexions se font dans l'unité interne d'où une économie de câblage. Une unité interne supporte jusqu'à **4 unités externes** avec différents scénarios de protection (hot standby, protection par diversité...) et jusqu'à **3 transmissions** dans des **directions différentes**.

L'unité interne se constitue de différentes **interfaces "plugin"** qui permettent d'avoir les fonctionnalités qu'on souhaite. Des interfaces 4x2M permettent d'accroître sa capacité, **des interfaces Ethernet** permettent d'avoir une transmission Ethernet dans le bond, **en cohabitation** avec la transmission PDH. La charge Ethernet se configure logicielle ment avec une granularité de 2Mbit/s.

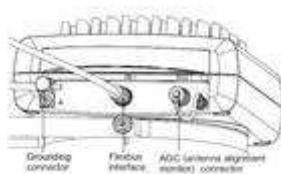
L'unité interne permet un **management en local** (Logiciel NOKIA Node Manager) ou à **distance** via le **protocole Q1** (Logiciel NOKIA NMS) et même avec tout logiciel de management du marché grâce à sa compatibilité avec le **protocole SNMP**. Le management à distance permet même un **upgrade de la configuration** (augmentation de la capacité, changement de la modulation) en téléchargeant des fichiers de licence. **Aucun changement de matériel est nécessaire**.



Interconnexion directe dans l'unité interne à forte intégration grâce au FlexBus



Caractéristiques de l'unité externe



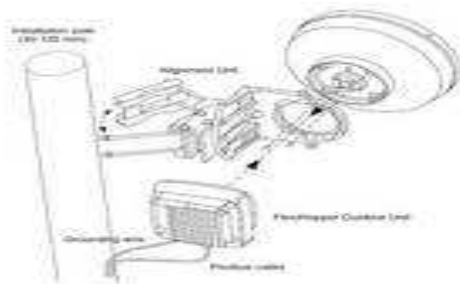
FlexiHopper Unité Externe

Les unités extérieures du FlexiHopper sont petites, légères et faciles à installer. Une unité extérieure **peut se monter directement contre l'antenne** (20, 30 et 60cm), dans ce

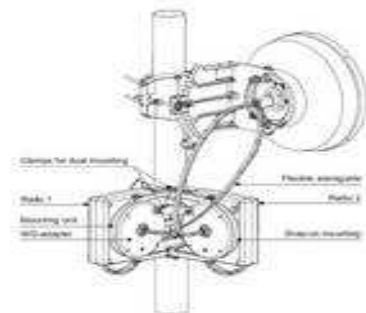
cas on utilisera une unité d'alignement. Pour des antennes de plus grande taille, on peut fixer l'unité à l'antenne grâce à un adaptateur, sinon on y connectera cette dernière avec un **guide d'onde flexible**. Pour **changer la polarisation** du signal radio, il suffit de **tourner l'antenne de 90°**.

Les unités externes sont équipées d'un système de gestion automatique de la puissance d'émission **ALCQ** qui est une méthode avancée d'**ATPC** (Automatic Transmit Power Control). Cette dernière **fait varier la puissance d'émission** en fonction de la **qualité du signal reçu à l'autre bout**.

Les unités externes **consommant au maximum 25W**. Ceci augmente leur autonomie en cas de fonctionnement sur batteries de secours et donc leur fiabilité.

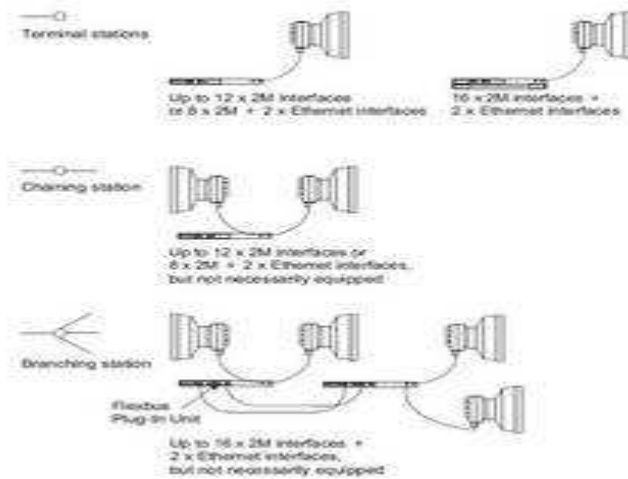


Simple et double polarisation

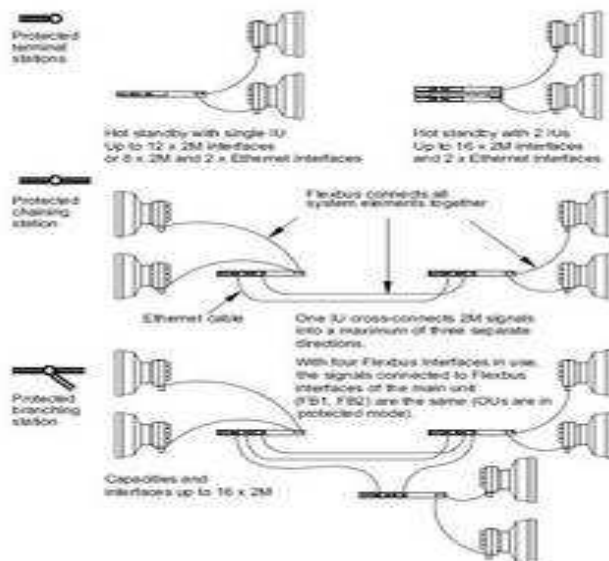


Quelques scénarios de branchement du FlexiHopper

Stations non protégées Stations protégées



Scénarios d'installation du faisceau hertzien



Faisceau Hertzien PDH 4 E1

Spécifications

Nokia propose plusieurs solutions de **faisceau hertzien** dont le NOKIA **MetroHopper**.

Le Nokia MetroHopper est un équipement de **boucle locale radio** offrant un **lien hertzien** de **4x2Mbits (4 E1)** pour des distances de **1.2Km max**. Le MetroHopper fonctionne dans la bande des **58GHz**. Il est disponible avec une antenne plate rectangulaire de 20cm ou une antenne parabolique de 30cm de diamètre.

La petite taille du MetroHopper et son apparence discrète le rendent facile à implémenter en milieu urbain et permet aux opérateurs de trouver de nouveaux types de sites. Les deux types d'antennes peuvent être mélangés au sein d'un même faisceau hertzien permettant de trouver le bon compromis entre apparence et portée.

La bande des 58GHz non règlementée permet une implémentation rapide du faisceau MetroHopper, et ses caractéristiques de propagation permettent un maillage de densité optimale du réseau microcellulaire.

Le MetroHopper partage les mêmes unités internes et la même plateforme d'interconnexion que la gamme FlexiHopper de NOKIA.



Avantages:

- Fonctionnement dans la bande des 58GHz, non régulée ce qui permet des implémentations rapides sans planification préalable et autorisations
- Réutilisation de la fréquence dans les réseaux urbains denses
- Petit, léger, facile et rapide à installer

- Les modules internes sont les mêmes que ceux du FlexiHopper



Caractéristiques principales



Configuration MetroHopper

La configuration de base du **MetroHopper** est constituée d'une unité interne et d'une unité externe, connectées via **un seul** câble le **FlexBus** sur lequel transitent l'alimentation et les signaux de transmission. L'antenne petite et discrète est disponible en deux formes : circulaire ou rectangulaire pour s'intégrer dans les différents décors urbains. Elle se fixe directement à l'unité externe pour plus de discrétion et d'efficacité.

Caractéristiques de l'unité interne



MetroHopper unité interne

L'unité interne, au format 19" a une épaisseur de 2 à 3U. Ces unités sont à **très forte intégration**, ce qui permet un **gain de place et une fiabilité accrue**. Les interconnexions se font dans l'unité interne d'où une économie de câblage. Une unité interne supporte jusqu'à **4 unités externes** avec différents scénarios de protection (hot standby, protection par diversité...) et jusqu'à **3 transmissions** dans des **directions différentes**.

L'unité interne se constitue de différentes **interfaces "plugin"** qui permettent d'avoir les fonctionnalités qu'on souhaite. Des interfaces 4x2M permettent d'accroître sa capacité et d'avoir des transmissions dans différentes directions, **des interfaces Ethernet** permettent d'avoir une transmission Ethernet dans le bond, **en cohabitation** avec la transmission PDH. La charge Ethernet se configure logicielle ment avec une granularité de 2Mbit/s.

L'unité interne permet un **management en local** (Logiciel NOKIA Node Manager) ou à **distance** via le **protocole Q1** (Logiciel NOKIA NMS) et même avec tout logiciel de management du marché grâce à sa compatibilité avec le **protocole SNMP**. Le management à distance permet même un **upgrade de la configuration** (augmentation de la capacité, changement de la modulation) en téléchargeant des fichiers de licence. **Aucun changement de matériel n'est nécessaire**.

Caractéristiques de l'unité externe



MetroHopper en zone urbaine

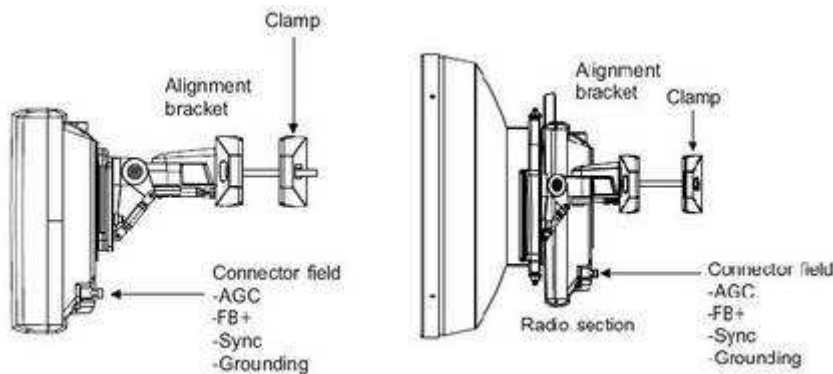
L'unité externe du faisceau hertzien MetroHopper, légère et de petite taille est très facile à installer.

L'antenne se fixe directement à l'unité externe pour plus de discrétion. Deux antennes sont disponibles, les antennes paraboliques de 30cm de diamètre qui offrent une plus grande portée et les antennes rectangulaires plates de 20cm qui ont été conçues pour une meilleure intégration dans le décor urbain et moins attirer l'attention.

L'alimentation et les données étant transmises de l'unité externe **via le FlexBus**, cette dernière ne nécessite que le FlexBus, un câble de synchronisation et un câble de mise à la terre pour fonctionner.

L'unité externe du faisceau hertzien ne **consomme** en moyenne que **13W**.

Elle peut se fixer de différentes façons que ce soit sur un support mural ou sur un pôle de fixation. Ce qui permet une parfaite adaptation aux exigences des zones urbaines.



Vue de l'unité externe