



4RF White Paper

## Avantages de la transmission en bandes inférieures à 3 GHz

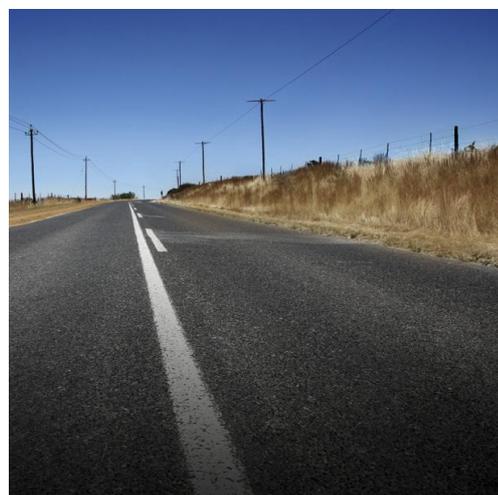


Table des matières	
1. Présentation	2
2. Allongement des distances de liaison	3
3. Réduction de la sensibilité aux effets environnementaux	6
4. Limitation des infrastructures et de la maintenance	12
5. Autres options de liaison	13
6. Résumé	14
7. Références	15

# 1 Présentation

## 1.1 Introduction

La société 4RF est spécialisée dans la conception, le développement et la fabrication de systèmes sans fil de transmission point à point de nouvelle génération. Les systèmes 4RF utilisent des bandes de spectre sous licence comprises entre 300 MHz et 3 GHz. L'activité principale de la société est axée sur l'offre de solutions radio micro-ondes numériques de pointe pour le marché des bandes de faible à<sup>1</sup> moyenne<sup>2</sup> capacité inférieures à 3 GHz. En 1999, 4RF lance le système Aprisa, suivi en octobre 2003 du système Aprisa XE pour compléter sa gamme de produits. Aujourd'hui, plus de 97 % du chiffre d'affaires de la société sont générés par les ventes à l'exportation des produits Aprisa. Les systèmes 4RF sont déployés dans plus de 130 pays à travers le monde.

## 1.2 Sommaire de gestion

Ce livre blanc souligne les avantages de la transmission en bandes inférieures à 3 GHz par rapport aux technologies de liaison standard utilisant des fréquences plus élevées. L'utilisation de fréquences inférieures à 3 GHz, combinée aux avancées technologiques récentes, a permis une extension considérable de la portée des systèmes radio numériques terrestres. Les distances généralement considérées comme infranchissables à l'aide de systèmes de liaison micro-ondes numériques sont maintenant régulièrement couvertes à un niveau de performances égalant celui des opérateurs et sont même deux à trois fois supérieures aux liaisons micro-ondes de hautes fréquences.

Les avantages clés de la transmission en bandes inférieures à 3 GHz incluent un fonctionnement presque totalement dénué d'interférences dans les bandes sous licence, une capacité inhérente à couvrir de longues distances et l'immunité à la plupart des conditions atmosphériques défavorables. En outre, la limitation des besoins en infrastructure se traduit par une baisse des coûts d'investissement et d'exploitation, entraînant la baisse du coût total de possession.

Ce livre blanc décrit en détail les avantages, outre ceux annoncés plus avant, offerts par l'utilisation de systèmes de liaison dans ce spectre. Les principaux avantages sont résumés ci-dessous :

- allongement des distances de liaison grâce à la réduction de l'affaiblissement de propagation, y compris fonctionnement dans des conditions de quasi-guidage décalé et amélioration du gain du système ;
- réduction de la sensibilité aux effets environnementaux : affaiblissement dû à la pluie, harmattan et khamsin, propagation par conduits, tempêtes et typhons ;
- limitation des infrastructures et de la maintenance grâce à la réduction de la charge des tours et des coûts d'exploitation ;

<sup>1</sup> Dans ce document, une faible capacité est définie comme égale ou inférieure à 2 Mbits/s.

<sup>2</sup> Une capacité moyenne correspond à la plage de 2 à 70 Mbits/s.

### Avantages de la transmission en bandes inférieures à 3 GHz

- Allongement des distances de liaison
- Réduction de la sensibilité aux effets environnementaux
- Limitation des infrastructures et de la maintenance

Grâce à ces avantages et au développement de nouveaux produits, les systèmes de liaison peuvent maintenant répondre à des exigences de service autrefois jugées irréalisables, même dans les environnements les plus hostiles. Une véritable solution de transmission micro-ondes terrestre longue distance est désormais disponible.

## 2 Allongement des distances de liaison

La capacité à couvrir de plus longues distances avec des fréquences inférieures à 3 GHz, en particulier dans le spectre de fréquences de 1,4 à 2 GHz, peut être attribuée à diverses caractéristiques. La combinaison de ces facteurs, parallèlement aux avancées technologiques récentes, permet aujourd'hui de relier des distances supérieures à 200 km.

Cette section souligne les avantages clés suivants offerts par la transmission en fréquences inférieures à 3 GHz et permettant de relier des distances supérieures à celles couvertes par les systèmes de hautes fréquences :

- réduction de l'affaiblissement de propagation ;
- amélioration du gain du système
- quasi-insensibilité aux affaiblissements dus à la pluie (décrite en détail dans la section des effets environnementaux).

### 2.1 Réduction de l'affaiblissement de propagation

Les affaiblissements de propagation d'une liaison sont le résultat de l'addition des facteurs suivants :

- affaiblissement en espace libre (Free space loss, FSL) ;
- affaiblissement par obstruction ou par diffraction : fonctionnement dans des conditions de propagation en quasi-guidage décalé ;
- affaiblissement atmosphérique gazeux.

Les effets de tous les facteurs répertoriés ci-dessus augmentent de façon significative avec la fréquence de transmission.

#### 2.1.1 Affaiblissement en espace libre

L'affaiblissement en espace libre correspond à l'atténuation qui se produirait sur un trajet totalement dénué d'objets ou autres obstacles absorbant ou réfléchissant l'énergie radio, en réponse à l'étalement ou la diffraction de l'onde radio. L'affaiblissement en espace libre (FSL) est proportionnel au carré de la distance séparant le transmetteur du récepteur et au carré de la fréquence transmise. La formule de calcul du FSL en dB est la suivante :

- $FSL (dB) = 20 * \text{Log}_{10} (\text{fréquence en MHz}) + 20 * \text{Log}_{10} (\text{distance en miles}) + 36,6$  ou
- $FSL (dB) = 20 * \text{Log}_{10} (\text{fréquence en MHz}) + 20 * \text{Log}_{10} (\text{distance en kilomètres}) + 32,44$

Le tableau 1 illustre le FSL à diverses fréquences pour un trajet de 50 km récemment mis en service.

Tableau 1 : affaiblissement en espace libre sur une liaison de 50 km à diverses fréquences

FRÉQUENCE (MHz)	FSL (dB)
1450	129
2100	133
6700	143
7500	144
18000	152

### 2.1.2 Affaiblissement par obstruction ou par diffraction : fonctionnement dans des conditions de propagation en quasi-guidage décalé

Les systèmes utilisant des fréquences inférieures à 3 GHz et intégrant l'égalisation adaptative sont capables de fonctionner sur des trajets présentant un haut niveau d'affaiblissement par obstruction ou diffraction. 4RF a déployé de nombreux systèmes dans les bandes de fréquences soumises à un affaiblissement par diffraction supérieur à 20 dB.

L'élargissement de l'écartement entre canaux et l'augmentation de l'affaiblissement par obstruction provoqués par les hautes fréquences imposent le respect de critères de conception plus stricts.

L'affaiblissement par diffraction fait référence à l'atténuation se produisant en réponse à une obstruction des zones de Fresnel ou en ligne directe. Le niveau d'affaiblissement dépend du type et de l'ampleur de l'obstruction, ainsi que de la fréquence de l'opération.

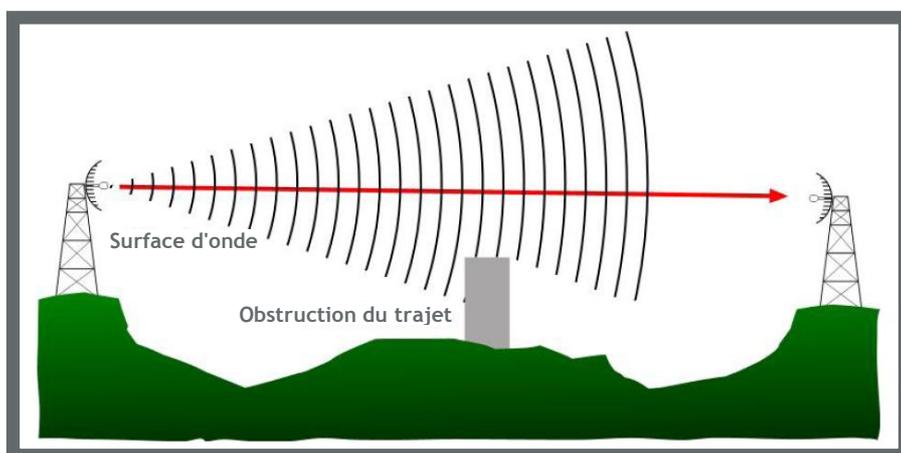


Figure 1 : exemple de diffraction due à l'obstruction de la zone de Fresnel

Les hautes fréquences possèdent des longueurs d'onde inférieures et, par conséquent, des zones de Fresnel plus réduites. Toutefois, plus la zone de Fresnel est réduite, plus son obstruction a d'effet sur les performances de la liaison.

À mesure que la fréquence de l'opération augmente, les effets de l'obstruction de la zone de Fresnel ou de l'obstruction en ligne directe deviennent plus importants. À des fréquences inférieures à 3 GHz, l'affaiblissement dû à l'obstruction de la zone de Fresnel par les bâtiments ou les arbres est minime [Réf. 1].

En résumé, contrairement aux systèmes micro-ondes de hautes fréquences, les solutions fonctionnant à des fréquences plus basses peuvent tolérer les obstructions partielles et occasionnelles en ligne directe, certains types d'obstruction n'ayant même aucun effet sur leurs performances.

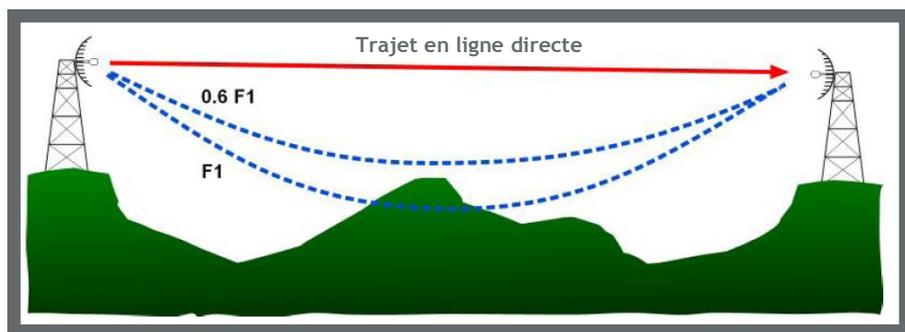


Figure 2 : obstruction de la zone de Fresnel au-delà de 0,6 F1

En règle générale, aucune obstruction ne devrait avoir lieu en-deçà de 0,6 F1 à des fréquences élevées (voir Figure 2). Cependant, à des fréquences inférieures à 3 GHz, il est possible d'obtenir des trajets offrant une liaison de niveau opérateur en ligne directe et, dans certains cas, avec obstruction presque totale de la zone de Fresnel.

L'expérience joue un rôle déterminant dans la conception de liaisons micro-ondes longue distance opérationnelles. Cela est particulièrement vrai pour la planification de trajets avec obstacles.

### 2.1.3 Affaiblissement atmosphérique gazeux

Lorsque les transmissions traversent la troposphère, elles subissent des interactions avec les molécules gazeuses présentes dans l'atmosphère. Ces interactions causent un affaiblissement de l'énergie ou de la puissance de la transmission, ce qui entraîne une atténuation. Alors que la plupart des gaz sont sans effet à des fréquences micro-ondes typiques, l'oxygène exerce une influence à des fréquences de 57 à 60 GHz et 119 GHz. Au niveau de la mer, cela provoque des affaiblissements de 15 dB au kilomètre à des fréquences comprises entre 57 et 63 GHz <sup>[Réf. 2]</sup>.

## 2.2 Amélioration du gain du système

Le gain du système, dans le cas des équipements radio numériques, désigne la différence en décibels entre la puissance d'émission et le seuil de réception. Le seuil de réception est généralement mesuré à  $10^{-6}$  ou  $10^{-3}$  de la sensibilité du taux d'erreur binaire (BER). Du point de vue des spécifications publiées, il est possible de déterminer différentes origines pour la mesure de la puissance d'émission et de la sensibilité du récepteur. Certains fabricants effectuent les mesures à la sortie du transmetteur et à l'entrée du récepteur, en contournant les pertes de branchement. Les systèmes fonctionnant à basses fréquences bénéficient d'un gain du système supérieur (pour un canal RF de taille équivalente), pour les raisons suivantes :

- augmentation de la puissance d'émission pour un même schéma de modulation
- Réduction de la sensibilité de réception pour un même schéma de modulation

L'amélioration du gain du système permet l'utilisation d'antennes plus petites, augmente la disponibilité et/ou allonge les distances de liaison. En outre, des antennes plus petites sont synonymes de coûts d'installation, de location des mâts et de fabrication réduits.

Le tableau 2 illustre un gain du système et une capacité typiques de  $10^{-6}$  BER pour les radios utilisant un canal 14 MHz à 16 QAM.

Tableau 2 : gain du système mesuré par rapport à la fréquence pour un système de 14 MHz et 16 QAM <sup>[Réf. 6]</sup>

Fréquence (MHz)	Gain du système (dB)	Capacité (E1)
2000	111	22
7000	104	16

### 3 Réduction de la sensibilité aux effets environnementaux

Cette section couvre les principaux avantages offerts par la transmission en bandes inférieures à 3 GHz dans diverses conditions environnementales. L'avantage clé du fonctionnement en bandes de fréquences inférieures à 3 GHz réside dans la capacité d'allonger de façon significative les distances de liaison ou d'augmenter leur disponibilité dans de telles conditions. Là où les liaisons de hautes fréquences ont tendance à faiblir jusqu'à l'évanouissement total du système de liaison, les systèmes utilisant des fréquences inférieures à 3 GHz demeurent insensibles aux mêmes conditions. Les principaux obstacles environnementaux sont les suivants :

- Précipitations (pluie)
- Harmattan et khamsin
- Propagation par conduits
- Tempêtes et typhons.

#### 3.1 Précipitations (pluie)

L'affaiblissement dû à la pluie est un problème connu en matière de liaison micro-ondes. L'absorption ou la dispersion de l'énergie de fréquence radio par les gouttes de pluie conduit à l'atténuation du niveau du signal de réception sur les systèmes de liaison. D'autres types de précipitation, tels que le brouillard ou la neige, sont également problématiques.

Les effets d'un affaiblissement dû à la pluie se font sentir à partir de l'application de fréquences supérieures à 4 GHz. La figure 3 ci-dessous représente le phénomène d'atténuation en dB/km par rapport à la fréquence de transmission dans la région de pluie N de l'UIT.

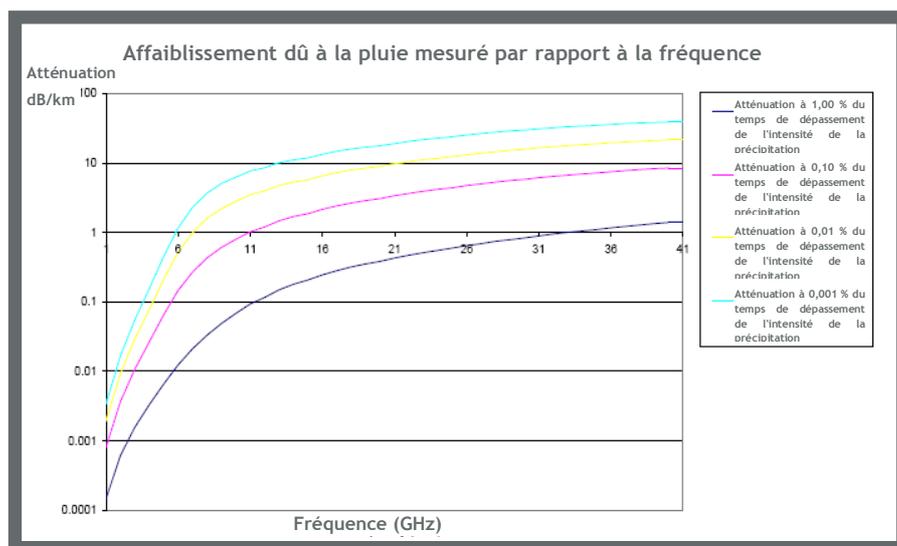


Figure 3 : affaiblissement mesuré par rapport à la fréquence pour la zone de pluie N de l'UIT (de 35 à 180 mm par heure) [Réf. 3, 4, 5]

Si l'on considère un trajet de 50 km soumis à 100 % à un taux de précipitation de 60 mm/h et utilisant la polarisation verticale <sup>[Réf. 5]</sup>, le tableau 3 indique l'affaiblissement dû à la pluie.

L'affaiblissement dû à la pluie requiert des systèmes utilisant des fréquences plus élevées pour incorporer la marge d'affaiblissement supplémentaire dans les zones où les précipitations sont presque toujours importantes. Pour cela, des antennes plus hautes et des structures de support coûteuses sont nécessaires et les distances de trajets sont de ce fait souvent considérablement réduites. À des fréquences inférieures à 3 GHz, l'affaiblissement dû à la pluie est sans incidence.

### 3.2 Harmattan et khamsin

Les termes Harmattan et khamsin font tous deux référence à des tempêtes de sable à l'origine d'un effet de brume causé par de minuscules particules de poussière (entre 0,5 et 10 micromètres).

L'harmattan désigne les alizés d'Afrique de l'Ouest s'élevant du Sahara et se déplaçant vers le sud jusqu'au Golfe de Guinée, capables d'atteindre l'Amérique du Nord dans le pire des cas. L'harmattan est parfois appelé « le médecin », surnom faisant référence à son effet rafraîchissant en période de chaleur oppressante. L'harmattan se produit chaque année entre la fin novembre et la mi-mars.

Le khamsin désigne les vents soufflant du Sahara à travers l'Égypte ou du désert arabe vers les régions environnantes. Il est couramment appelé « vent de cinquante jours » car il est censé ne souffler que pour une cinquantaine de jours chaque année. Le khamsin se produit généralement à deux saisons : de mars à mai et de septembre à Novembre. De nombreuses autres régions sont touchées par des phénomènes semblables :

- Australie
- Chine
- Mexique
- Mongolie
- Maroc
- Russie
- États-Unis (Grandes Plaines)

L'UIT n'offre pas de recommandations pour le calcul prévisionnel de l'atténuation due aux tempêtes de sable. Plusieurs études ont été menées sur des liaisons opérationnelles afin de déterminer les effets des tempêtes de sable sur les systèmes de transmission <sup>[Réf. 8]</sup>.

Ces études confirment que les systèmes de liaison présentent les symptômes suivants en cas d'exposition à l'harmattan :

- doublement des événements d'affaiblissement pendant cette saison ;
- augmentation de la profondeur des évanouissements par un facteur de deux ou trois fois celui observé en conditions normales ;

Les effets des tempêtes de sable sur la propagation RF sont la somme des effets suivants :

FRÉQUENCE (MHz)	Atténuation (dB)
2500	0.6
7000	27.2
10000	78

Tableau 3 : fréquence mesurée par rapport à l'affaiblissement dû à la pluie pour un trajet de 50 km

- absorption et dispersion du signal RF à partir des particules de poussière ;
- propagation par conduits due à l'inversion thermique.

L'atténuation par la teneur en poussière pour une visibilité optique donnée (masse volumique de poussière) augmente avec la fréquence radio et la teneur en eau des particules de poussière. L'introduction d'eau dans les conduits et l'affaiblissement provoqués par l'harmattan perturbent la propagation micro-ondes et méritent l'attention des ingénieurs lors de la planification des liaisons.

L'atténuation due à la poussière affecte généralement les signaux de fréquence égale ou supérieure à 10 GHz. Dans le cas de tempêtes de sable, la visibilité, mesurée en mètres, est utilisée pour calculer l'atténuation effective par kilomètre. Pour les tempêtes de sable particulièrement puissantes, la visibilité peut être réduite à dix mètres. Cela se traduirait par une atténuation d'environ 1,8 dB/km avec des valeurs de teneur en eau et de taille de particule standard. Comme pour l'affaiblissement dû à la pluie, les transmissions à une fréquence de 3 GHz sont moins susceptibles de subir l'atténuation des tempêtes de sable, dont l'impact peut être ignoré.

### 3.3 Propagation par conduits

La propagation par conduits fait référence au guidage d'énergie RF dans une couche à couloirs de la basse atmosphère (troposphère). Le phénomène de guidage dans les conduits est principalement causé par l'inversion thermique (une couche d'air chaud reposant sur une couche d'air froid) et est souvent imprévisible et difficilement mesurable lors de la phase conceptuelle d'un système de liaison. Les conduits peuvent générer des pertes dues à la propagation par trajets multiples de réfraction et de réflexion à court terme et à long terme (de plus de 3 secondes).

Un haut niveau de guidage régulier de particules dans les conduits s'observe surtout dans les zones côtières et peut affecter la fiabilité de la transmission micro-ondes dans certaines régions géographiques. Les régions suivantes sont connues pour entraîner des difficultés au niveau de la propagation par conduits :

- la côte du Golfe de l'Afrique (surtout le Nigeria) ;
- le Golfe du Mexique ;
- l'Inde ;
- le Golfe persique et le Golfe arabe ;
- les régions côtières de Méditerranée ;
- les régions côtières des tropiques et sous-tropiques.

La propagation par conduits des signaux RF dans les liaisons point à point entraîne plusieurs problèmes <sup>[Réf. 9]</sup>. Voici les plus courants :

- Variation du niveau du signal de réception
- Distorsion de phase due aux trajets multiples
- interférences entre les systèmes en raison du brouillage par débordement des ondes ;

### 3.3.1 Variation du niveau du signal de réception

Des variations du signal de réception se produisent lorsqu'une partie de la puissance RF est piégée dans le conduit. Les méthodes traditionnelles utilisées pour combattre les effets de la propagation par conduits sur les systèmes de liaison hautes fréquences incluent l'augmentation du gain du système, la réduction de la distance de liaison et l'augmentation de l'inclinaison du trajet.

### 3.3.2 Distorsion de phase due aux trajets multiples

La distorsion de phase est le résultat de la réception de signaux déphasés. Les réflexions sur le trajet constituent la cause principale du phénomène de trajets multiples. En conditions de propagation par conduits, le signal réfracté et déphasé peut se situer à un niveau supérieur au signal en phase attendu.

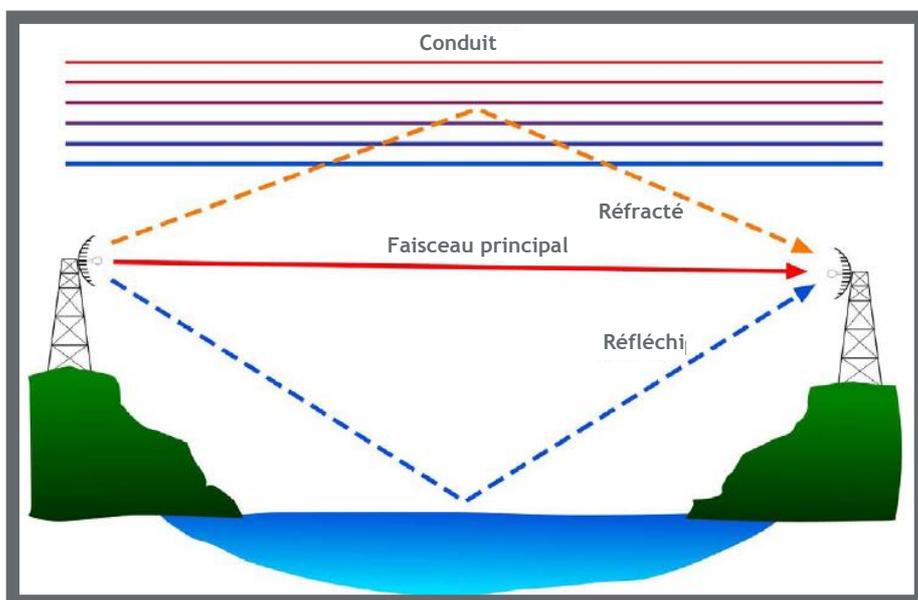


Figure 4 : multi-trajet réfléchi et réfracté

### 3.3.3 Interférences entre les systèmes

Les signaux peuvent voyager sur des distances largement supérieures dans les conduits qu'en conditions normales [Réf. 9]. Cela peut entraîner des interférences entre les systèmes de canal commun dans lesquels les interactions sont normalement impossibles.

### 3.3.4 Fréquence de guidage dans les conduits

Pour que la propagation par conduits ait lieu, la fréquence de l'onde doit être supérieure à une valeur critique définie comme la fréquence minimale de guidage dans les conduits. La valeur de la fréquence minimale de guidage dans les conduits est déterminée par la profondeur physique du conduit et le profil de réfringence (ou taux de modification de la pression dans les couches atmosphériques). Malheureusement, aucune méthode fiable ne permet de prévoir la profondeur des conduits avant leur apparition. Toutes les fréquences supérieures à 50 MHz subissent les effets de la propagation par conduits. Ces effets s'accroissent à mesure que les fréquences augmentent [Réf. 10].

### 3.4 Tempêtes et typhons

Le tableau 4 illustre les saisons et les tempêtes et événements cycloniques moyens pour chaque région :

BASSIN	Début de la saison	Fin de la saison	Tempêtes tropicales > 34 nœuds	Tempêtes tropicales > 63 nœuds	Cyclones tropicaux cat. 3+ > 95 nœuds
Pacifique nord-ouest	Avril	Janvier	26.7	16.9	8.5
Inde du Sud	Octobre	Mai	20.6	10.3	4.3
Pacifique nord-est	Mai	Novembre	16.3	9.0	4.1
Atlantique nord	Juin	Novembre	10.6	5.9	2.0
Pacifique sud-ouest	Octobre	Mai	10.6	4.8	1.9
Inde du Nord	Avril	Décembre	5.4	2.2	0.4

Tableau 4 : saisons et moyenne des tempêtes <sup>[Réf. 7]</sup>

Les difficultés rencontrées par les liaisons RF dans les régions en proie aux cyclones et tempêtes sont le résultat de deux facteurs principaux :

- Grands vents
- Fortes précipitations

#### 3.4.1 Grands vents

Les grands vents exercent une forte pression sur les structures de support. Plus la surface exposée au vent est importante, plus la force exercée sur la structure est grande. Cela peut se traduire par la nécessité de prévoir des structures de support autonomes imposantes dans les régions régulièrement touchées par les tempêtes.

Les rafales peuvent également entraîner le désalignement des antennes. Cela peut causer l'atténuation ou la perte du signal de réception aux deux extrémités de la liaison.

Les antennes paraboliques à grille utilisées pour les opérations de transmission en bandes inférieures à 3 GHz ont l'avantage de présenter des caractéristiques de charge due au vent limitées, de l'ordre d'un tiers de la quantité de charge endurée par les antennes pleines hautes fréquences de même taille. Cela signifie que des structures de support plus légères peuvent être utilisées pour le déploiement de nouveaux services ou que davantage de services peuvent être utilisés avec l'infrastructure existante sans dépasser le taux de charge de la structure de support.

Les antennes à grille sont beaucoup plus légères que les antennes pleines de taille équivalente. Elles facilitent l'installation de l'infrastructure et permettent de réduire les besoins en remorquage. La réduction des coûts découlant de l'utilisation d'antennes équipées de grilles est répercutée sur le coût de déploiement des services. Cela résulte en une réduction significative des coûts de projets totaux combinés à la baisse du coût des structures de support.

### 3.4.2 Fortes précipitations

L'affaiblissement dû à la pluie est un problème connu en matière de liaisons micro-ondes. D'un point de vue pratique, les systèmes utilisant les bandes de fréquences inférieures à 3 GHz offrent les avantages suivants par rapport aux systèmes hautes fréquences dans les zones soumises à l'influence des typhons, cyclones et tempêtes :

- Allongement des distances de liaison
- Réduction de la charge et des besoins en infrastructures
- Augmentation de la disponibilité du système en conditions de tempête

## 4 Limitation des infrastructures et de la maintenance

Les systèmes utilisant les bandes de fréquences inférieures à 3 GHz offrent divers avantages en termes d'infrastructure et de coûts d'exploitation : Les plus significatifs, la réduction de la charge des tours et des coûts d'exploitation, sont décrits dans la section suivante.

### 4.1 Réduction de la charge des tours et des besoins en infrastructure

L'utilisation d'antennes Yagi ou paraboliques de petite taille permet de réduire considérablement les besoins en charge pour les infrastructures de support, par rapport aux antennes paraboliques pleines utilisées pour les systèmes hautes fréquences. Dans le cas de systèmes utilisant les bandes de fréquences inférieures à 3 MHz, il est possible d'utiliser des pylônes de base ou haubanés supportant des antennes multiples. À l'inverse, les antennes paraboliques pleines requièrent souvent des structures autoporteuses coûteuses. Voici quelques points de comparaison :

- La charge des antennes paraboliques pleines est trois fois supérieure à celle des antennes à grille.
- Les antennes paraboliques pleines ne sont généralement pas adaptées à l'utilisation sur des structures de support à pylône simple ou haubané en raison de la charge de la tour ou de la flexibilité excessive des structures haubanées pour les antennes à faisceau étroit.
- L'utilisation de structures de support peu encombrantes ou coûteuses facilite l'acquisition des sites.
- De telles structures de support contribuent également à réduire de façon significative l'impact visuel dans les zones touristiques ou de banlieue.
- Il est toujours possible d'utiliser des structures de support encombrées grâce à la réduction de la charge et à l'utilisation d'antennes plus petites.

Le coût global du déploiement des systèmes de liaison utilisant les bandes inférieures à 3 GHz est largement réduit.

### 4.2 Réduction des coûts d'exploitation

Les systèmes utilisant les fréquences inférieures à 3 GHz permettent de réduire significativement les frais généraux d'exploitation et de maintenance. Les principaux avantages sont les suivants :

- Aucun programme de planification de maintenance requis. Contentez-vous d'installer le système.
- Aucune maintenance des unités externes.
- Les systèmes d'alimentation non pressurisés éliminent les coûts liés à la maintenance du compresseur et des équipements de guidage d'ondes.

Il est possible de réduire grandement les coûts d'exploitation et de maintenance planifiée grâce à l'utilisation de systèmes fonctionnant en bandes inférieures à 3 GHz.

Antennes légères pour la transmission en bandes inférieures à 3 GHz



## 5 Autres options de liaison

Vous trouverez ci-dessous un résumé des technologies alternatives les plus courantes.

### 5.1 Transmission radio point à point hors licence

- distance limitée par les interférences ;
- nombreuses sources potentielles d'interférences (fours à micro-ondes, téléphones sans fil, réseaux LAN sans fil) ;
- niveau de sécurité faible et performances variables (disponibilité affectée par les autres utilisateurs) ;
- déploiement rapide (aucune licence requise).

### 5.2 Transmission radio numérique micro-ondes hautes fréquences (> 6 GHz)

- affaiblissement du signal dû à l'harmattan, à la pluie et aux autres types de précipitations ;
- besoins étendus en infrastructures (tours) ;
- coût élevé des antennes (antennes paraboliques pleines) ;
- solution de haute capacité adaptée aux liaisons de courte distance ;
- coûts d'exploitation (maintenance des unités externes) ;
- excellente solution de haute capacité pour les liaisons de courte distance.

### 5.3 Infrastructure satellite

- largeur de bande inférieure et coûts d'exploitation élevés ;
- sensibilité aux conditions climatiques ;
- pertes de signal dues au soleil ;
- problèmes de capacité : asymétrie satellite (vitesse de liaison descendante moyenne et de liaison ascendante faible) ;
- latence élevée ;

Bien que les technologies décrites ci-dessus soient adaptées à certaines applications spécifiques, l'utilisation de fréquences inférieures à 3 GHz en association avec des programmes de modulation spectrale efficaces confère aux systèmes de liaison 4RF suffisamment de flexibilité pour en faire des systèmes performants pour la plupart des applications. Les options d'interface prennent en charge les fonctionnalités vocales, de multiplexage par répartition dans le temps et Ethernet à travers une plate-forme unique, éliminant la nécessité de posséder des équipements externes.

## 6 Résumé

Les points évoqués ci-dessus peuvent être résumés en une phrase :

Les systèmes de liaison en bandes inférieures à 3 GHz permettent aux utilisateurs de relier de plus grandes distances tout en bénéficiant d'un coût de déploiement réduit.

Les avantages en termes de disponibilité, de distance couverte et d'opérations en conditions de quasi-guidage, combinés à des besoins limités en infrastructures, se traduisent par une multiplication des options de site et une réduction des coûts de déploiement des services.

Il est primordial d'obtenir des conseils avisés à un stade avancé de la planification des systèmes radio micro-ondes longue distance. De nombreuses considérations tant économiques que techniques sont envisageables lors de la conception de systèmes capables de fonctionner dans des environnements de liaison défavorables. L'avis d'un fournisseur réputé employant des ingénieurs spécialisés dans les trajets de liaison est capital pour mettre au point une solution optimale sur le long terme tout en réduisant les coûts d'investissement et d'exploitation.

## 7 Références

- [1] ITU-R : Propagation by Diffraction. Recommandation p.526
- [1] ITU-R : Attenuation by Atmospheric Gases. Recommandation p.676
- [3] ITU-R : Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line of site systems. Recommandation p.530
- [4] ITU-R : Characteristics of precipitation for propagation modeling. Recommandation p.837
- [5] ITU-R : Specific attenuation model for rain for use in prediction methods. Recommendation p.838
- [6] Alcatel-Lucent 9400 AWY Digital Microwave Radio Links data sheet WLS7526071005 (10)
- [7] Laboratoire océanographique et météorologique de l'Atlantique, division de recherche sur les ouragans : "Frequently Asked Questions: What are the average, most, and least tropical cyclones occurring in each basin?"
- [8] Département de physique, université de Calabar, Nigéria : "Microwave signal attenuation in Harmattan weather along Calabar-Akampkpa Line-of-Sight link", rapport de recherche de O. E. Eyo, A. I. Menkiti, S. O. Udo
- [9] Groupe de recherche sur les spectres radio, université de Canberra : "Implications of the evaporation duct for microwave radio path design over tropical oceans in Northern Australia" A. Kerans, A.S. Kulesa, E. Lensson, G. French et G.S. Woods
- [10] Atelier de l'ITU/INA : Spectrum Monitoring measurements and techniques – Space wave propagation

### À propos de 4RF



Présentes dans plus de 130 pays, les solutions 4RF sont déployées par des sociétés du domaine pétrolier ou gazier, de l'aide internationale, de la sécurité publique, de la diffusion, et du transport, ou encore par des sociétés militaires et de sécurité et des opérateurs de télécommunications. Les produits 4RF sont optimisés pour fonctionner dans les climats les plus rudes et avec les topographies les plus exigeantes, et prennent en charge les applications analogiques héritées, de données série PDH et IP.



26 Glover Street  
Ngauranga  
Wellington 6035  
NOUVELLE-ZÉLANDE

Téléphone +64 4 499 6000  
Télécopie +64 4 473 4447  
Courrier électronique sales@4rf.com  
www.4rf.com