

Union internationale des télécommunications

# UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R F.1610**  
(02/2003)

## **Planification, conception et mise en œuvre des systèmes radioélectriques du service fixe en ondes décamétriques**

**Série F**  
**Service fixe**



Union  
internationale des  
télécommunications

## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	<b>Service fixe</b>
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	Vocabulaire et sujets associés

*Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## RECOMMANDATION UIT-R F.1610\*

**Planification, conception et mise en œuvre des systèmes radioélectriques du service fixe en ondes décimétriques**

(2003)

**Champ d'application**

La présente Recommandation donne des orientations pour la planification, la conception et la mise en œuvre des systèmes radioélectriques du service fixe en ondes décimétriques. Il y est question des équipements, de l'analyse et de la conception des systèmes, des études de site et des essais des systèmes.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) le besoin de disposer de services de radiocommunication en ondes décimétriques;
- b) l'évolution récente des techniques propres aux systèmes en ondes décimétriques qui permet d'obtenir:
  - une meilleure qualité de service en combinant la possibilité d'exploiter des techniques modernes de traitement du signal et l'utilisation d'un logiciel évolué de commande en temps réel;
  - une réduction des temps de transmission garantissant ainsi l'utilisation la plus efficace du spectre, la possibilité de faire baisser les brouillages entre utilisateurs ainsi que la capacité d'accroître la densité du trafic;
- c) que l'UIT-R a élaboré un Manuel sur les systèmes et réseaux de communication adaptatifs en fréquence exploités dans les bandes des ondes hectométriques et décimétriques qui décrit la nature de ces systèmes et leur utilisation;
- d) que la qualité de fonctionnement des systèmes en ondes décimétriques dépend de la conception technique et de la planification de l'installation radioélectrique,

*recommande*

**1** aux utilisateurs, qui ont l'intention de mettre en œuvre des systèmes en ondes décimétriques, d'utiliser les renseignements donnés dans l'Annexe 1 comme guide pour la planification, la conception et la mise en œuvre des systèmes.

---

\* La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en décembre 2009 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

## Annexe 1

### Planification conception et mise en œuvre des systèmes radioélectriques du service fixe en ondes décimétriques

#### 1 Introduction

Une grande souplesse d'exploitation et une maintenance facile rendent les techniques des systèmes en ondes décimétriques très utiles pour les communications mondiales, ce qui est particulièrement vrai dans le cas de vastes zones géographiques où le trafic télégraphique téléphonique et de données est très faible.

A l'heure actuelle, le développement des moyens de communication modernes de forte capacité, comme le satellite ou le câble, a permis de mettre une partie importante du spectre des fréquences radioélectriques, entre 3 et 30 MHz, à la disposition des systèmes de télécommunication tout en satisfaisant les besoins des services mobiles.

Lorsqu'on envisage pour la première fois d'établir une nouvelle liaison de communication entre deux ou plus de deux points et qu'un système de radiocommunication en ondes décimétriques est proposé comme solution possible, il faut procéder à une étude de faisabilité pour analyser et définir l'ensemble du système. Cette étude permettra de vérifier que le système en question, basé sur une comparaison des alternatives techniques et opérationnelles, convient compte tenu des impératifs fixés et que son avantage économique est indéniable.

#### 2 Définition et analyse des spécifications

Une analyse rigoureuse des prévisions et des impératifs concernant le nouveau système devrait permettre de montrer si ce support de communication convient ou non pour l'application considérée. Certains des éléments militent en faveur de l'utilisation d'un système de radiocommunication en ondes décimétriques plutôt que d'autres moyens de communication:

- distance;
- fiabilité;
- relief;
- impératifs liés au trafic des messages;
- impératifs liés à la priorité des messages;
- estimations;
- cycle solaire et ensemble de fréquences disponibles;
- adéquation des sites.

Un examen des éléments précités permettra de déterminer si l'utilisation d'un équipement radioélectrique en ondes décimétriques convient pour l'application proposée.

##### 2.1 Conception préliminaire du système et étude de faisabilité

Une fois qu'il a été établi qu'un système en ondes décimétriques constitue une solution viable pour le besoin de communication, il faut alors procéder à une conception préliminaire du système et à une étude de faisabilité. Les éléments que l'ingénieur responsable du système doit prendre en considération sont examinés dans la suite du document.

## 2.2 Plans des liaisons/plan d'acheminement

Les plans des liaisons et les plans d'acheminement établis lors de l'analyse théorique donnent des informations sur le nombre et le type de canaux nécessaires pour interconnecter chacun des terminaux du système en ondes décimétriques. Si le système radioélectrique fait partie d'un réseau d'équipements plus vaste, l'ingénieur chargé de la mise en œuvre travaillera avec le gestionnaire de réseau pour identifier toutes les stations ou tous les nœuds à inclure dans le réseau ainsi que leurs emplacements géographiques. Les plans d'acheminement doivent tenir compte des facteurs suivants:

- emplacement physique de chaque nœud et lien avec les autres nœuds du réseau;
- obstacles physiques (montagnes, bâtiments, antenne etc.) entre les nœuds;
- équipements situés à chaque nœud, en particulier puissance et caractéristiques d'antenne;
- trajets de propagation entre les stations considérées;
- interfaces de communication qui sont connectées à chaque nœud;
- caractéristiques, volume et priorité du trafic de communications.

## 2.3 Plan de fréquences

La planification doit débuter suffisamment tôt dans le projet pour que l'on dispose de suffisamment de fréquences pour prendre en charge chaque liaison du système radioélectrique en ondes décimétriques afin qu'une exploitation ininterrompue soit possible jour et nuit, à tout moment de l'année et sur l'ensemble du cycle solaire de 11 ans. Un programme de prévision des fréquences, comme celui figurant dans la Recommandation UIT-R P.533, pourrait être utilisé pour déterminer les besoins de fréquences dans différentes situations.

## 2.4 Tableau des effectifs

Pour faire en sorte que chaque station du réseau soit exploitée correctement et bien entretenue il convient de procéder au début du processus de planification à une analyse du nombre, de la formation et de l'expérience du personnel qui devra être affecté à chaque nœud du réseau pendant la période de service requise.

## 2.5 Besoins logistiques

Le concepteur du système doit choisir un site qui comporte des voies d'accès appropriées, un système d'alimentation électrique et d'alimentation en eau, du combustible pour les générateurs, un service téléphonique, un bureau de poste, des centres médicaux, des zones locatives et commerciales adéquates pour le personnel. Dans la très grande majorité des cas, le site sera situé à proximité d'une agglomération ou d'une grande ville et les équipements logistiques indiqués ci-dessus seront normalement disponibles. Dans un petit nombre de cas, il faudra des efforts logistiques particuliers pour obtenir ces services.

## 2.6 Modes de communication requis (voix, données et image)

Les spécifications permettront de définir le ou les types de trafic que la station en ondes décimétriques doit pouvoir traiter. Il peut s'agir de trafic téléphonique uniquement ou bien de trafic téléphonique et de trafic de données et il faudra peut-être traiter d'autres formes d'informations, par exemple, des images, des signaux de télécopie ou des signaux vocaux cryptés. Pour chacun de ces types de trafic, l'ingénieur responsable du système devra examiner les équipements supplémentaires nécessaires.

## 2.7 Rapports *S/N* requis

Les modes de communication requis (voix, données etc.) détermineront le rapport *S/N* requis. On peut utiliser la Recommandation UIT-R F.339 pour déterminer le rapport *S/N* nécessaire pour obtenir la qualité de service souhaitée (qualité ligne de service, qualité commerciale marginale ou bonne qualité commerciale), pour le type de signal (analogique, numérique).

## 2.8 Types de modulation et débits de données

Normalement, cette information sera fournie par le concepteur du système avec les spécifications de l'équipement. Il faut veiller à ce que les équipements connectés entre eux fonctionnent aux mêmes débits de données et utilisent le même type de modulation. Pour les transmissions de données en ondes décimétriques, différentes techniques sont proposées dans les Recommandations UIT-R F.763 et UIT-R F.436 afin d'éviter des dégradations de la qualité de service imputables au canal radioélectrique.

Dans la solution adaptée par l'UIT-R on effectue une conversion série – parallèle du signal à grande vitesse (jusqu'à 1 200 bit/s), ce qui donne 6 à 12 canaux multiplexés par répartition en fréquence. La vitesse de modulation ainsi obtenue pour chaque sous-canal étant faible (50-100 Bd), le signal numérique ne subit pas, pour ainsi dire, de distorsion par propagation par trajets multiples. Côté réception, un concentrateur de données rétablit les caractéristiques d'origine du signal.

Pour des débits plus élevés (jusqu'à 4 800 bit/s), on utilise parfois des systèmes basés sur une modulation par déplacement de phase différentielle avec des tonalités décalées en fréquence. Dans ce cas, l'information résulte de la différence de phase relative entre deux tonalités émises simultanément. Les effets de la propagation par trajets multiples sur les deux tonalités sont pratiquement les mêmes en raison de la faible différence (environ 40 Hz). Une autre technique consiste à transmettre les données en série et à utiliser un égaliseur adaptatif dans le récepteur pour supprimer la distorsion due au phénomène de propagation par trajets multiples. Des modems en ondes décimétriques, pour des débits de données allant jusqu'à 9 600 bit/s, ont été mis au point avec ces formats de signalisation.

L'information est acheminée sous forme analogique ou numérique sur le canal radioélectrique. Les types de transmission sont définis dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

**Types de modulation**

Indicateur	Forme de modulation	Définition
CW	Onde entretenue	Onde radioélectrique d'amplitude et de fréquence constantes. Comme forme de modulation, l'onde entretenue est définie comme une onde continue ininterrompue activée ou non, manipulée en utilisant le code Morse
MA	Modulation d'amplitude	Une forme de modulation dans laquelle on fait varier l'amplitude d'une onde porteuse en fonction de certaines caractéristiques du signal de modulation
MF	Modulation de fréquence	On utilise les variations d'amplitude du signal de modulation pour faire varier la fréquence instantanée de l'onde porteuse par rapport à sa valeur non modulée
BLU	Bande latérale unique	Forme de modulation d'amplitude dans laquelle la porteuse et une bande latérale sont supprimées et la bande latérale restante est transmise. On parle aussi de bande latérale unique supérieure (BLUS) et de bande latérale unique inférieure (BLUI)
BLI	Bande latérale indépendante	Méthode de transmission à double bande latérale dans laquelle l'information acheminée par chaque bande latérale est différente
RTTY	Radio téléimprimeur	Téléimprimeur utilisé dans un système de communication faisant appel à des circuits radioélectriques. Les signaux marque/espace du téléimprimeur sont modulés dans des systèmes radioélectriques soit par un décalage bifréquentiel de l'onde porteuse appelé modulation par déplacement de fréquence (MDF), soit par un signal audio bifréquence appelé fréquence vocale télégraphique ou modulation par déplacement de fréquence audio (MDFA)
Données	Binaire numérique	L'information est représentée par un code se composant d'une séquence d'éléments discrets. Les données numériques sont produites par des téléimprimeurs, des télécopieurs numériques ou des terminaux informatiques, entre autres sources. Les signaux sont en général transmis par conversion numérique – analogique vers une modulation MDF ou une modulation par déplacement de phase (MDP)

**2.9 Fiabilité des circuits requise**

Les circuits en ondes décimétriques peuvent offrir une fiabilité de 80% (19,2 h/jour) à 95% (22,8 h/jour). Les équipements adaptatifs modernes comme les équipements d'établissement automatique de liaison (ALE) fonctionneront près de la limite supérieure du spectre de fiabilité.

**2.10 Equipements terminaux nécessaires**

Par équipement terminal on entend ici l'installation physique dans son ensemble, à savoir les sources d'alimentation électrique primaire et auxiliaire ainsi que les systèmes de lutte antipollution nécessaires pour prendre en charge le nouveau système en ondes décimétriques.

### **2.11 Durée de service du système requise**

La durée pendant laquelle le nouveau système en ondes décimétriques sera, en principe, en service aura une incidence sur le choix de l'équipement. Si le service doit être assuré uniquement pour une courte période (de plusieurs mois à quelques années) on pourra fonctionner avec des équipements transportables ou tactiques. Si le service doit être assuré sur une durée plus longue, on utilisera généralement des équipements installés de façon permanente.

### **2.12 Contraintes liées au site des équipements**

Compte tenu des grandes longueurs d'onde qui interviennent pour l'exploitation en ondes décimétriques les sites des stations en ondes décimétriques doivent être vastes. Pour une simple antenne doublet, on a besoin d'au moins 0,5 hectare de terrain et pour une antenne en losange de 2 à 7 hectares. Si le nouveau système en ondes décimétriques ne peut pas utiliser un site existant, la planification doit intervenir au tout début du projet pour trouver et acquérir un emplacement adapté. Par ailleurs, si l'on envisage une exploitation sur plusieurs circuits ou une exploitation en mode duplex intégral sur un seul circuit, les différentes antennes doivent être suffisamment éloignées les unes des autres pour éviter les brouillages, ce qui fait que l'on a besoin de plus de terrain.

### **2.13 Evaluations d'impact d'environnement**

Souvent, la construction du site d'un système radioélectrique en ondes décimétriques ou la mise à niveau d'un site existant nécessitera les études d'impact d'environnement. Si l'on prévoit d'utiliser des pylônes de plus de 50 m ou si le site est situé ou prévu d'être situé à proximité d'un aéroport ou d'un héliport, il faudra avertir les autorités responsables du trafic aérien.

### **2.14 Date de mise en service requise**

La date à laquelle la station (ou le nouvel équipement) doit être opérationnelle peut être indiquée dans le cahier des charges d'origine ou peut devoir être négociée avec l'agence d'exploitation. Il se peut que les délais de livraison de certaines composantes importantes du système ne soient pas respectés, de sorte qu'il convient de tenir compte des calendriers de livraison dans l'établissement de la date de mise en service.

## **3 Aspects pratiques**

Pour mettre en place un nouveau système radioélectrique de communication en ondes décimétriques ou en agrandir, il ne suffit pas de faire des estimations concernant les équipements. On trouvera dans la présente section des indications sur les estimations directes et indirectes liées au projet ainsi que des précisions sur:

- le démarrage
- les équipements
- l'installation.

### **3.1 Démarrage**

#### **3.1.1 Estimations concernant la gestion du projet**

Les estimations doivent porter sur le personnel direct ou indirect dont a besoin le gestionnaire du projet, ainsi que le personnel nécessaire pendant tout le temps consacré à la surveillance et à la gestion du projet. D'autres postes sont également inclus par exemple, le poste voyages.

### **3.1.2 Estimations concernant les aspects techniques du système**

Les estimations doivent porter sur le personnel direct ou indirect, dont l'ingénieur responsable du système a besoin ainsi que le personnel affecté pour le temps consacré à l'examen des spécifications du projet et à la conception du système. Ces estimations peuvent également comprendre d'autres postes par exemple, les voyages, l'impression, la rédaction de documents, etc.

### **3.1.3 Estimations concernant l'acquisition de biens immobiliers/de terrain**

Si la compagnie d'exploitation ne possède pas de site pour la ou les nouvelle(s) station(s) en ondes décimétriques, le ou les site(s) doivent être achetés ou loués. Les estimations concernant les acquisitions comprennent toutes celles liées à l'acquisition du terrain pour le ou les site(s), y compris l'achat, la location annuelle, les droits légaux et les taxes éventuelles.

### **3.1.4 Préparation du site**

Il s'agit des estimations concernant le nivellement du terrain, la construction de clôtures, le creusement de tranchées pour les câbles d'antennes, la construction de piliers en béton pour les pylônes d'antennes.

### **3.1.5 Construction ou modifications du/des bâtiment(s) abritant les équipements**

Si le site est nouveau, il faut construire un bâtiment/une installation de contrôle pour abriter les équipements et prévoir un lieu pour le personnel opérant sur le site. Si le site existe déjà, il pourra être nécessaire de construire de nouveaux locaux pour le ou les bâtiment(s) du site pour abriter le nouveau système.

### **3.1.6 Construction ou modifications du système d'alimentation électrique primaire ou secondaire du site**

Le système en ondes décimétriques doit être alimenté en courant alternatif distribué par le réseau électrique de la compagnie locale pour que les équipements en ondes décimétriques puissent fonctionner et qu'il y ait sur le site le chauffage, la ventilation et l'air conditionné. Si le site existe déjà, l'alimentation électrique est déjà là mais, dans de nombreux cas, il faudra peut-être mettre à niveau le système d'alimentation électrique et le doter de transformateurs plus gros et de coupe-circuits supplémentaires. Il peut également être prévu dans le plan technique d'installer une source d'alimentation électrique auxiliaire, par exemple, un générateur électrique essence ou diesel pour les situations d'urgence.

## **3.2 Equipements**

### **3.2.1 Equipements en général**

Les estimations concernant les équipements du système en ondes décimétriques peuvent ou non être le poste le plus important du projet, selon le nombre de circuits nécessaires, les niveaux de puissance dont ont besoin les émetteurs et les distances entre les sites. Les équipements sont habituellement achetés auprès d'un fournisseur ou d'un vendeur, même s'il n'est pas rare que plusieurs vendeurs se groupent pour un contrat important. Habituellement la compagnie d'exploitation informe tous les vendeurs agréés de son intention d'acheter des équipements et/ou des services dans le cadre de la demande de proposition (RFP, *request for proposal*). Les vendeurs intéressés répondent à cette RFP en indiquant la solution qu'ils proposent pour répondre aux besoins du client, assortie d'une estimation. Le client peut alors choisir, parmi plusieurs solutions en concurrence, celle qui est la mieux adaptée à ses besoins. Souvent, les vendeurs proposeront une solution «clé en mains» dans le cadre de laquelle, ils fourniront tous les équipements nécessaires et assureront ou sous-traiteront l'installation et les travaux de préparation du site. Les composants les plus courants d'un système radioélectrique en ondes décimétriques sont les suivants:

- émetteur/récepteur ou émetteur-récepteur;
- composants d'antenne;
- commutateurs d'antenne;
- lignes de transmission;
- dispositifs de terminaison;
- multicoupleurs, filtres, présélecteurs, réseaux de commutation, dispositifs d'adaptation;
- raccordement RF;
- équipement terminal;
- terminaux vocaux;
- équipement de raccordement audio;
- installation de raccordement en courant continu;
- installation pour les pièces de rechange;
- équipement d'essai, charges fictives, mesureurs de puissances RF/du champ.

### 3.2.2 Émetteur/récepteur ou émetteurs-récepteurs

Selon les niveaux de puissance requis, la station pourra être équipée d'émetteurs-récepteurs ou d'émetteurs et de récepteurs distincts. Pour des niveaux de puissance faibles à moyens (100 à 1 000 W), on utilise habituellement des émetteurs-récepteurs (combinaison de l'émetteur et du récepteur dans le même ensemble). Pour des puissances de plus de 10 kW, les émetteurs et les récepteurs sont placés à des endroits différents du site. Ce type de configuration permet un fonctionnement en mode duplex intégral, si nécessaire.

### 3.2.3 Composantes d'antennes

On utilise pour les systèmes en ondes décimétriques des antennes très diverses: antennes simples, antennes filaires minces, antennes doublets demi-onde, grandes antennes fixes, antennes log-périodiques orientables ou antennes en losange desservant plusieurs hectares. Le choix des antennes dépend du nombre de fréquences à couvrir, des niveaux de puissance RF utilisés et des impératifs de fiabilité des circuits. On utilisera des antennes équidirectives ou directives en fonction de l'emplacement des stations à contacter. On pourra avoir besoin d'autres composantes de sous-systèmes d'antenne: ligne de transmission (symétrique ou coaxiale), matrice de commutation d'antenne, multicoupleurs, dispositifs de terminaison, réseaux d'adaptation d'impédance et raccordement RF de niveau élevé ou de faible niveau.

### 3.2.4 Commutateurs d'antennes

On a recours à des commutateurs d'antennes lorsqu'il y a plusieurs antennes ou lorsqu'on utilise des antennes différentes pour des trajets de circuit différents. Le commutateur permet à l'opérateur radio de commuter les antennes à l'aide d'un commutateur manuel situé dans le local radio ou électriquement depuis une console de commande.

### 3.2.5 Lignes de transmission

Les lignes de transmission sont utilisées pour connecter les émetteurs/récepteurs à l'antenne. Elles sont choisies pendant l'étude technique détaillée, en fonction de la puissance de l'émetteur, de l'impédance du système, de la possibilité de couplage avec d'autres lignes situées à proximité, de l'affaiblissement en ligne, de facteurs économiques et des conditions atmosphériques. En règle générale, les émetteurs de puissance faible à moyenne (100 W à 1 000 W) utilisent des câbles coaxiaux pour la ligne de transmission alors que les stations de forte puissance (plus de 10 kW) utilisent des lignes de transmission symétriques filaires aériennes.

### 3.2.6 Dispositifs de terminaison

Les dispositifs de terminaison sont utilisés avec des antennes non accordées – longues antennes filaires, antennes en V ou antennes en losange – pour les rendre équidirectifs. Il y a deux types de dispositifs de terminaison: les dispositifs à constantes localisées (résistance pure) et les dispositifs à constantes réparties (ligne à fort affaiblissement). Ces dispositifs ont une impédance qui est l'impédance caractéristique de l'antenne particulière et doivent pouvoir dissiper (au moins) la puissance moyenne de l'émetteur.

### 3.2.7 Multicoupleurs

Les multicoupleurs sont les dispositifs utilisés pour que deux ou plus de deux émetteurs ou récepteurs puissent partager la même antenne. En règle générale, seuls les émetteurs de faible puissance utilisent des multicoupleurs en raison du découplage nécessaire entre émetteurs.

### 3.2.8 Raccord RF

On utilise un raccord RF de faible puissance pour interconnecter les équipements lorsque les synthétiseurs ou les exciteurs de fréquences sont utilisés avec des amplificateurs de puissance linéaire. La puissance en sortie de ces synthétiseurs ou de ces excitateurs est en général de l'ordre de quelques milliwatts. On utilise un raccord RF de puissance plus élevée pour interconnecter des émetteurs à faible puissance (100 à 500 W) à des amplificateurs de puissance linéaires.

### 3.2.9 Equipements terminaux

Pour les besoins de cette Recommandation, les équipements terminaux couvriront tous les autres équipements auxiliaires comme les terminaux vocaux, les commutateurs manuels audio et leur système de couplage, le couplage direct et les téléscripteurs, les multiplexeurs pour la télégraphie harmonique, les télécopieurs, les modems de données en ondes décimétriques et les dispositifs de cryptage.

### 3.2.10 Terminaux vocaux

Les terminaux vocaux assurent l'interface entre l'équipement du client et le système de transmission, la signalisation d'appel, l'isolation électrique entre le trajet d'émission et le trajet de réception et le conditionnement des signaux.

### 3.2.11 Equipement de raccord audio

Tout terminal en ondes décimétriques devrait avoir un raccord audio. Il peut s'agir d'une simple ou de plusieurs réglettes de jacks. Ce raccord permet au personnel responsable de la station d'avoir accès à tous les circuits audio pour:

- l'acheminement du trafic d'urgence;
- les équipements de commutation ou de substitution;
- le contrôle de la qualité du signal;
- les essais et la maintenance des circuits.

Tous les circuits entrants, sortants et la plupart des circuits audio à l'intérieur de la station apparaîtront sur le panneau de raccord audio. Dans le cas des petites installations, il peut être situé avec les autres équipements. Sur les sites plus importants, il sera situé dans un lieu distinct et surveillé et il peut même être dans un bâtiment distinct. Les fiches et les jacks du raccord audio doivent être d'une taille différente de ceux de l'équipement de raccord par couplage direct pour éviter toute erreur de raccordement.

*Dispositif de raccordement par couplage direct*

Un dispositif de raccordement par couplage direct est nécessaire s'il y a des télésécripteurs ou d'autres équipements par couplage direct. Le raccord peut être une réglette à un ou plusieurs jacks, il est généralement situé au même endroit que les autres équipements auxiliaires.

*Rechanges*

Le niveau du stock de rechanges peut être déterminé par la finalité du site. Si la station doit fonctionner 24 heures sur 24, il faudra peut-être prévoir, non seulement des composants de rechange (fusibles, câbles de raccordement coaxiaux) etc., mais aussi des équipements de réserve pour remplacer des équipements défectueux ou pour que la station reste opérationnelle; le stockage de pièces de rechange supplémentaires peut aussi être conditionné par des considérations d'ordre politique ou réglementaire.

**3.2.12 Installation**

D'autres éléments à inclure dans l'estimation concernent le processus d'installation de la station. Il peut s'agir notamment des éléments suivants:

- a) inventaire des pièces et équipements nécessaires pour l'installation de la station;
- b) estimations destinées aux consultants/ingénieurs professionnels extérieurs;
- c) estimations concernant la main d'œuvre nécessaire pour l'installation de la station;
- d) estimations concernant les essais de recette;
- e) formation du personnel du site;
- f) estimations concernant le cycle de vie.

**a) Inventaire des pièces et équipements nécessaires pour l'installation d'une station**

Cet inventaire est une liste de tous les équipements et composants nécessaires pour mettre en place ou à niveau la ou les stations en ondes décimétriques. En dehors des principaux constituants – antennes, émetteurs-récepteurs, etc. – cet inventaire comprend d'autres éléments comme les fils, les câbles, les coupe-circuits, les chemins de câbles, les vis, les clous, etc. Cette liste est finalisée uniquement lorsque l'étude technique détaillée a été menée à bien. Des règles empiriques ou des projets antérieurs peuvent fournir des données estimatives pour les premières étapes de la planification du système.

**b) Estimations concernant les consultants/ingénieurs professionnels extérieurs**

Des consultants ou des ingénieurs professionnels sont souvent employés pour des tâches spécialisées, par exemple la localisation de sites appropriés ou la mesure des niveaux de bruit électrique locaux (bruit artificiel ou bruit naturel).

**c) Estimations concernant la main d'œuvre nécessaire pour l'installation de la station**

A moins que ce service ne soit fourni par le vendeur de l'équipement (contrat de sous-traitance), le gestionnaire du projet doit le planifier. Les estimations concernant l'installation de la station couvrent toutes les structures nécessaires pour que le site soit opérationnel (c'est-à-dire les structures qui n'ont pas été terminées pendant la phase de préparation du site).

**d) Estimations concernant les essais de recette**

Les équipements d'essai jouent un rôle important pour rendre le site parfaitement opérationnel. Le plan des essais peut prévoir des essais formels de chaque pièce des nouveaux équipements par l'agence de réception ou par le vendeur, sous la supervision de l'agence. Les essais peuvent être très simples, se limiter par exemple à une période de 30 jours, pendant laquelle on attend du personnel sur le site qu'il vérifie toutes les pièces d'équipement. Les estimations concernant le personnel direct

ou indirect nécessaires pour ces essais doivent être incluses dans les estimations globales concernant le projet. Il faudra élaborer des plans d'essai appropriés s'il n'en existe pas. Si ces plans sont requis, leur élaboration constitue un autre élément du projet qui doit être pris en considération.

**e) Formation du personnel du site**

La formation du personnel du site pour tout nouvel équipement installé dans le cadre du projet doit toujours être examinée. Elle peut être assurée dans le cadre du contrat d'achat de l'équipement ou, si la compagnie est suffisamment grande pour avoir des formateurs internes, ces derniers peuvent recevoir une formation du vendeur puis ensuite dispenser une formation «interne» au personnel du site. Dans un petit nombre de cas, il peut y avoir sur le site un petit nombre de personnes déjà formées qui peuvent assurer un programme de formation sur le terrain destiné au reste du personnel. Quelles que soient les modalités, la formation doit toujours être prise en compte dans les plans relatifs au projet.

**f) Estimations concernant le cycle de vie**

Enfin, le concepteur du système doit examiner les estimations concernant le cycle de vie. Ces estimations peuvent comprendre les postes récurrents nécessaires pour exploiter le nouveau moyen de communication et en assurer la maintenance.

## **4 Analyse et conception du système**

La conception technique d'un système radioélectrique en ondes décimétriques type pourrait comporter les trois niveaux de planification suivants:

- premier niveau, analyse des spécifications pour le système de communication afin d'établir qu'il est possible d'utiliser les radiocommunications en ondes décimétriques;
- deuxième niveau, celui de l'élaboration de données estimatives pour étayer les demandes et les approbations de financement du projet;
- troisième et dernier niveau, celui de l'analyse technique détaillée.

### **4.1 Coordonnées géographiques approximatives pour chaque station**

Une fois choisi un emplacement approximatif pour la station (ou un site existant) on peut déterminer la latitude et la longitude de la station. Si on utilise un site existant, les coordonnées géographiques seront connues (et peuvent être vérifiées à l'aide d'un récepteur GPS de poche). Si le site n'a pas encore été déterminé définitivement, les coordonnées géographiques peuvent être estimées à partir d'une carte topographique récente.

### **4.2 Choix provisoire du site**

Le choix du site d'un équipement radioélectrique en ondes décimétriques nécessite une analyse détaillée de l'environnement physique dans lequel le site doit fonctionner. Avant tout, le site choisi doit être approprié d'un point de vue technique.

Plus précisément, l'ingénieur doit prendre en considération l'environnement de bruit du site, la conductivité du sol, les obstacles à l'arrière plan, des choses comme des bâtiments ou des montagnes à proximité qui occulteraient les signaux reçus ou émis. Autres considérations secondaires: la facilité de construction, l'accès aux services publics de distribution (eau, électricité, etc.) et l'accès au site. Cela étant, l'adéquation technique du site est le facteur le plus important.

### 4.3 Paramètres opérationnels du trajet

Les prévisions de la propagation ont pour objet d'évaluer la fréquence optimale à utiliser et de prévoir les performances du système tout au long des 11 années du cycle solaire et tout au long de l'année. Ces prévisions de la propagation sont utilisées par l'ingénieur responsable de la conception pour choisir l'équipement le mieux adapté au trajet.

### 4.4 Prévision de la propagation

La détermination des conditions atmosphériques est à la base de prévision de la propagation, partie intégrante de la conception et de l'analyse d'un système radioélectrique en ondes décamétriques. Les points suivants doivent être pris en considération avant de pouvoir faire une analyse précise de la propagation.

- environnement de bruit du site;
- caractéristiques des antennes;
- puissance RF disponible;
- gain du système.

#### *Environnement de bruit du site*

Il convient de mesurer le bruit naturel et le bruit artificiel sur le site tout au long de la journée. Dans l'idéal, il conviendrait de choisir un site éloigné des zones à forte concentration de bruit (par exemple, zones industrielles ou résidentielles ou bien encore aéroports). Le bruit radioélectrique se divise en deux grandes catégories: le bruit interne au système de réception et le bruit externe à l'antenne de réception. Le bruit radioélectrique interne au système de réception est habituellement le facteur contraignant pour les systèmes radioélectriques fonctionnant au-dessus de 300 MHz. Pour les systèmes radioélectriques en ondes décamétriques, c'est le bruit extérieur qui est le facteur contraignant et il n'est pas intéressant d'utiliser des récepteurs avec des spécifications de bruit inférieures aux niveaux du bruit extérieur. Le bruit radioélectrique extérieur peut encore être subdivisé en deux grandes sous-catégories: le bruit naturel et le bruit artificiel. Le bruit atmosphérique, le bruit galactique et le bruit solaire sont des exemples de bruit naturel. Les systèmes d'allumage, les équipements industriels, les lignes électriques et les équipements électriques en général sont des sources de bruit artificiel. S'il n'est pas possible de mesurer le bruit atmosphérique tout au long d'une année, on peut faire des estimations par référence à la Recommandation UIT-R P.372. Cette Recommandation donne des informations sur le bruit atmosphérique local pour différentes heures de la journée et pour chacune des quatre saisons de l'année.

La principale source de bruit naturel dans les bandes d'ondes décamétriques est le bruit atmosphérique qui se propage depuis les trois grandes zones d'activités orageuses du monde, à savoir l'Amérique du sud, l'Afrique et l'Asie du sud-est. Le bruit atmosphérique reçu suit les tendances de la propagation, faible le matin et élevée le soir.

Il est recommandé d'effectuer une étude de site pour déterminer les niveaux locaux du bruit artificiel. Les mesures de bruit sont faites à l'aide d'une antenne unipolaire raccordée à un mesureur de bruit électromagnétique. Les mesures sont faites sur une période de deux semaines de 8 h 00 à 12 h 00 et de 20 h 00 à 24 h 00, heure locale. Les mesures du matin donnent les valeurs du bruit artificiel et celles de la nuit traduisent les niveaux du bruit atmosphérique. Les mesures sont effectuées sur 12 fréquences nominales exemptes de brouillage (0,17; 0,3; 0,5; 1; 1,8; 2,5; 5; 7; 10; 20 et 25 MHz). On établit la moyenne des données des mesures et on trace une courbe aux fins de comparaison. Il ressort d'une comparaison des valeurs des niveaux du bruit artificiel pour les zones rurales calmes, rurales, résidentielles et «commerciales» que la différence maximale est d'environ 25 dB. Un choix judicieux du site de l'antenne pour la station de base peut améliorer les

performances du système de 25 dB. La disponibilité du système et la qualité de service du système proposé ne peuvent pas être évaluées avec précision en l'absence de données sur le niveau de bruit du système.

## 4.5 Choix de l'équipement

Les composants les plus courants d'un système radioélectrique en ondes décimétriques sont les suivants:

- émetteur/récepteur ou émetteur-récepteur;
- sous-système d'antenne;
- interfaces à fréquences vocales;
- interfaces numériques;
- lignes de transmission.

### 4.5.1 Configurations types des systèmes en ondes décimétriques

#### *Onde entretenue*

Au tout début de la radio, on utilisait un manipulateur télégraphique pour activer ou désactiver la porteuse RF, conformément à un code télégraphique. Étant donné qu'il s'agissait d'une onde RF continue, lorsqu'elle était activée, ce type de transmission a été appelé transmission à onde entretenue interrompue. On parle le plus souvent simplement d'onde entretenue. La plupart des équipements commerciaux et militaires dispose d'une fonction de communication de secours en onde entretenue. Cette forme de communication est utile pour les communications d'urgence lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser d'autres formes de transmission.

#### *Phonie en bande latérale unique BLU*

Les stations de phonie à BLU sont en général des émetteurs-récepteurs compacts qui sont placés sur une table. La puissance en sortie est en général d'environ 100 W. Couplée à un amplificateur linéaire, elle sera normalement comprise entre 400 et 1 000 W. Ces systèmes ont de nombreuses utilisations dans le domaine militaire: réseaux de contrôle et de commande, réseaux administratifs, communications sol-air et air-sol, réseaux de gestion de convois, autres applications mobiles, et circuits de service pour systèmes de communications transportables. En général, les antennes sont du type fouet pour les applications mobiles ou transportables, doublet ou réseau directif orientable (antennes Yagi ou log-périodiques) pour les applications fixes.

#### *Station de puissance moyenne pour systèmes à plusieurs sites*

A la différence des petites installations de faible puissance, où les émetteurs et les récepteurs peuvent être implantés sur un même site, il faut prévoir pour les grosses installations multicanal en ondes décimétriques de puissance plus élevée (plus de 1 000 W) des sites distincts pour les émetteurs et les récepteurs, distants, en général, d'au moins 8 km ou plus. On peut avoir besoin d'une troisième installation, le centre de retransmission des communications. Ce centre assure les fonctions de commande, de commutation et de traitement des messages. Les sites sont interconnectés par une liaison téléphonique multicanal, par câble multipaires ou par liaison hyperfréquence.

#### *Sous-système émetteur*

L'équipement d'émission peut être de type monobloc ou non. Les grands émetteurs sont habituellement constitués de plusieurs éléments fonctionnels: un synthétiseur de fréquences, un excitateur et un amplificateur de puissance. Certains excitateurs disposent de une à quatre entrées indépendantes pour canaux à 3 kHz. Ces quatre canaux vocaux sont utilisés pour le mode BLI.

### *Sous-système récepteur*

La plupart des récepteurs actuels conçus pour de grands systèmes en ondes décimétriques sont accordables à l'aide d'un synthétiseur de fréquences. Le synthétiseur peut être un élément distinct ou faire partie intégrante du récepteur. Les techniques de gestion des fréquences plus sophistiquées actuellement disponibles utilisent des mécanismes de syntonisation commandés par microprocesseur pour effectuer des changements de fréquence rapides et précis. Les récepteurs BLI sont conçus pour recevoir quatre canaux à fréquences vocales de 3 kHz vers l'équipement de terminaison à fréquences vocales et l'équipement multiplex.

### *Émetteurs-récepteurs*

Un émetteur-récepteur se compose d'un émetteur, d'un récepteur et d'une interface.

#### **4.5.2 Sous-système d'antenne**

Un sous-système d'antenne type sur un grand site comprend tous les éléments associés aux antennes, notamment les lignes de transmission, les rideaux d'antenne, les supports de fixation, les lignes de dissipation (si nécessaire), les dispositifs de commutation et d'adaptation d'impédance, les dispositifs d'entrée vers les abris ou bâtiments contenant les équipements.

#### **4.5.3 Équipement d'interface à fréquences vocales**

L'équipement d'interface à fréquences vocales assure l'interconnexion entre l'abonné et le système de transmission. Il assure la signalisation dans la bande, l'égalisation, l'affaiblissement ou l'amplification ou tout autre conditionnement du signal nécessaire pour une interface entre les moyens de transmission et l'équipement de terminaison à fréquences vocales.

#### **4.5.4 Lignes de transmission**

Il existe essentiellement deux types de lignes de transmission: les lignes symétriques et les lignes asymétriques. Les lignes de transmission symétriques ont deux conducteurs identiques ou des groupes de conducteurs qui fonctionnent avec une tension égale (mais de polarité opposée) par rapport à la terre. Les lignes asymétriques ont deux conducteurs un conducteur actif et l'autre relié à la terre. Ces deux types de lignes peuvent comporter un blindage externe.

### *Ligne coaxiale*

Une ligne coaxiale est une ligne de transmission asymétrique, blindée, conçue avec un conducteur placé en son centre, l'autre étant un cylindre creux qui entoure complètement le conducteur central. Lorsqu'il est bien conçu, le conducteur extérieur assure un effet d'écran quasi parfait puisqu'il est normalement relié à la terre, ce qui fait qu'il capte très peu les brouillages extérieurs. Cette caractéristique, plus que toute autre, fait de la ligne de transmission coaxiale le meilleur choix pour la réception. Pour l'émission, les lignes coaxiales ont peu de perte par rayonnement et sont insensibles à la présence d'objets, de conducteurs ou d'autres lignes de transmission à proximité. Comparées aux lignes filaires aériennes, toutefois, les lignes coaxiales présentent généralement des affaiblissements beaucoup plus importants et, pour les applications forte puissance, sont plus onéreuses. Les caractéristiques d'affaiblissement et de puissance dépendent largement du diélectrique séparant les conducteurs. La puissance qu'elles sont susceptibles d'acheminer dépend de la distance entre le conducteur central et le conducteur extérieur et de la capacité du diélectrique à supporter la chaleur produite par le conducteur central. On distingue les lignes coaxiales rigides, semi-rigides et souples.

- Une ligne coaxiale rigide est normalement utilisée pour raccorder la sortie d'émetteurs à forte puissance à une matrice de commutation d'antenne, à un dispositif d'adaptation d'impédance (balun ou transformateur) ou à un autre type de ligne coaxiale à 50  $\Omega$ , ou bien encore pour entrer dans des bâtiments ou en sortir. Une ligne rigide a un conducteur central

tubulaire et un conducteur extérieur concentrique et auquel il est fixé par des disques ou des broches en croix, en matériau diélectrique. Les tronçons de ligne sont connectés par des brides et on utilise des coudes standards lorsque la ligne n'est pas rectiligne. Leur diamètre est généralement compris entre 2,2 et 15,6 cm. L'affaiblissement linéique est en général inférieur à celui des lignes filaires aériennes.

- Les lignes coaxiales semi-rigides sont en général utilisées dans des systèmes de puissance moyenne (20 kW environ). Le rayon de courbure du câble semi-rigide peut atteindre 10 à 15 fois son diamètre. Le conducteur intérieur est creux sauf, pour les petites lignes, où il est plein. Il est fixé à l'intérieur du conducteur extérieur par une hélice en polystyrène. Le conducteur extérieur est souvent un ruban métallique semi-rigide enroulé et armé, généralement recouvert d'une enveloppe protectrice de vinyle ou de polyéthylène. L'affaiblissement est plus important que pour les lignes filaires aériennes.
- La ligne coaxiale souple est la ligne de transmission la plus courante pour les stations en ondes décamétriques petites ou moyennes. Il existe plusieurs types de lignes coaxiales souples répondant à divers besoins. Leur diamètre est compris entre 0,3 et 3,2 cm et leur impédance entre 50 à 150  $\Omega$ . L'affaiblissement est très nettement supérieur à celui des lignes filaires aériennes, en particulier pour les petits câbles.
- Une ligne coaxiale souple se compose d'un conducteur intérieur plein ou multibrin entouré d'un diélectrique de polyéthylène. La tresse en cuivre entourant le diélectrique forme le conducteur extérieur. Cette tresse devrait pouvoir assurer une efficacité de blindage d'au moins 95%. Il ne faut pas utiliser les câbles bon marché qu'on trouve dans le commerce car ils n'assurent une efficacité de blindage qui n'est que de 60 à 80%. La tresse est entourée d'une gaine étanche de vinyle ou de polyvinyle. Cette gaine sert uniquement de protection contre les salissures, les moisissures et les produits chimiques, afin d'éviter toute contamination du diélectrique qui aggraverait la dégradation des caractéristiques d'affaiblissement du câble.
- Les lignes coaxiales souples sont essentiellement utilisées comme lignes de transmission d'antenne dans les systèmes de réception. Les antennes de réception à haute impédance, par exemple les antennes log-périodiques, utilisent en général un câble coaxial avec un transformateur d'adaptation placé aux bornes de l'antenne. Un câble coaxial assure une bonne adaptation d'impédance avec le centre d'une antenne demi-onde symétrique mais sans balun le diagramme de rayonnement de l'antenne sera modifié en raison de la nature asymétrique de la ligne coaxiale.
- Un avantage des lignes coaxiales souples est qu'elles peuvent être installées dans pratiquement n'importe quel environnement. Elles ne nécessitent aucune isolation, peuvent être installées à même le sol ou dans une conduite, peuvent être coudées dans des limites raisonnables et serpentées entre des murs où il serait peu commode d'utiliser d'autres types de ligne. A l'extérieur du bâtiment, tous les câbles coaxiaux fixes devraient être enterrés, à une profondeur d'au moins 50 cm, dans les climats froids. La profondeur minimale d'enfouissement des câbles est déterminée par le point de gel ou la charge en surface. Il faudrait placer le câble au milieu d'un lit de sable de 8 cm au moins et placer un filet avertisseur au-dessus de la couche supérieure de sable avant de combler la tranchée. Cela évitera de sectionner le câble lors des excavations. On mettra des marqueurs en béton de part et d'autre de la tranchée pour faciliter la localisation et la protection du câble. Pour éviter que les bruits radioélectriques ne soient captés par la ligne de transmission utilisée pour la réception, l'adaptateur d'impédance devrait être installé aux bornes de l'antenne. Le câble coaxial de connexion est alors enterré jusqu'au bâtiment de réception. Les câbles RF d'un même bâtiment sur le site devraient être normalisés et avoir la même impédance caractéristique (50  $\Omega$ ). Les équipements présentant d'autres impédances caractéristiques

seront dotés des transformateurs adaptateurs d'impédance à 50  $\Omega$ . Les câbles RF devraient être physiquement regroupés par utilisation (câbles d'excitateur, câbles de contrôle ou câbles par panneaux de raccordement).

#### *Ligne filaire aérienne*

Une ligne filaire aérienne se compose de deux ou plus de deux fils parallèles de même taille dont l'écartement est maintenu constant à l'aide d'écarteurs ou d'entretoises isolés. Ces lignes peuvent être symétriques ou asymétriques.

##### – *Ligne filaire aérienne asymétrique*

L'impédance caractéristique des lignes filaires aériennes asymétriques est comprise entre 20 et 200  $\Omega$ , en fonction de leur structure. On utilise les lignes filaires aériennes asymétriques essentiellement à des fins d'adaptation d'impédance.

##### – *Ligne filaire aérienne symétrique*

Pour la transmission, on préfère souvent des lignes filaires aériennes symétriques aux lignes de transmission coaxiales. Pour tous les niveaux de puissance, à l'exception des très faibles niveaux, la ligne filaire aérienne est plus économique que la ligne coaxiale.

#### *Section de ligne de transmission*

Pour de longues sections, les lignes filaires aériennes symétriques présenteront un affaiblissement beaucoup plus faible que des lignes coaxiales de même coût. Les ondes se propagent pratiquement à la même vitesse qu'en espace libre. La tension nominale maximale dépend de l'espacement des conducteurs, du type, de la taille et de l'état des isolants.

#### *Lignes d'alimentation*

Les lignes filaires aériennes sont particulièrement indiquées pour l'alimentation de la plupart des antennes symétriques large bande comme les antennes en V. Elles sont relativement simples à réaliser. Les matériaux nécessaires sont les suivants: deux conducteurs d'acier cuivré ou un petit tube de cuivre écroui dur suffisamment long pour aller de la connexion d'alimentation de l'antenne au balun, avec des écarteurs et des isolants. L'isolant des écarteurs doit être de bonne qualité, par exemple polystyrène ou matériau phénolique, suffisamment long pour que l'écartement entre les conducteurs d'alimentation reste constant à 15 cm. Les écarteurs sont placés à des intervalles suffisamment rapprochés pour maintenir l'écartement nécessaire et empêcher toute torsion de la ligne ou tout court-circuit. Les écarteurs sont espacés de 1 à 2 m. Le balun doit être placé aussi près que possible des isolants inférieurs. Les lignes filaires aériennes nécessitent la plus grande prudence. Pour une puissance en sortie de l'émetteur de 1000 W, il y a une tension d'environ 775 V sur les fils.

## **4.6 Caractéristiques des antennes**

Un réseau de communication en ondes décamétriques doit pouvoir fonctionner sur plusieurs fréquences différentes entre 3 et 30 MHz pour acheminer les communications. Les dimensions physiques d'une antenne d'émission sont inversement proportionnelles à la fréquence de fonctionnement, et se situent entre 50 et 5 m. Un réseau d'adaptation d'antenne (dispositif de réglage d'antenne) est nécessaire pour que, à la sortie de l'émetteur, l'antenne soit perçue comme une charge résistive. Le réglage de l'antenne doit être effectué lorsque l'émetteur change de fréquence de fonctionnement. Pour les communications en ondes décamétriques, on utilise habituellement la même antenne pour l'émission et la réception. Il faut toutefois remarquer que les puissances RF reçues par les antennes réceptrices sont de plusieurs ordres de grandeur inférieurs à celles appliquées aux antennes d'émissions. Par conséquent, les problèmes d'isolation pour les hautes

tensions qui doivent être pris en considération pour les systèmes d'antenne d'émission ne se posent pas pour les systèmes d'antenne de réception. En règle générale, les dimensions d'une antenne en ondes décimétriques avec un diagramme de rayonnement donné peuvent être réduites pour la réception car la baisse d'efficacité (perte d'une fraction de la puissance importante) que l'on observe habituellement avec des antennes de petite taille peut être tolérée pour des applications de réception en ondes décimétriques. On peut tolérer une antenne à fort affaiblissement car le niveau du bruit extérieur ambiant est en général plus élevé que celui du bruit thermique du récepteur, c'est-à-dire que la perte de puissance au niveau de l'antenne de réception fait baisser à la fois le niveau du signal et le niveau du bruit atmosphérique à la borne d'entrée du récepteur mais ne modifie pas de façon significative le rapport  $S/N$  atmosphérique et bruit du récepteur, à condition que l'affaiblissement ne soit pas excessif. Un exemple d'antenne de réception de petite taille, à un seul élément est une boucle simple d'un diamètre égal à une petite fraction de longueur d'onde. On peut utiliser ce type d'antenne réseau pour assurer le gain et la directivité.

Pour rayonner une puissance maximale, une antenne d'émission doit avoir à sa source d'excitation une impédance qui reste dans des limites bien définies. Cinquante, 70, 300 et 600  $\Omega$  sont des valeurs d'impédance types. Lorsque l'antenne n'est pas exactement adaptée à l'impédance de la puissance de sortie, une partie du signal de sortie est réfléchi vers l'émetteur. Le signal réfléchi peut changer de phase et venir s'ajouter au signal de sortie de l'émetteur, ce qui endommage l'émetteur. Le défaut d'adaptation d'impédance et le signal réfléchi par l'antenne qui en résulte est appelé taux d'ondes stationnaires (TOS) admissible. La valeur maximale du TOS pour les émetteurs disponibles sur le marché est de 3:1. Lorsque l'impédance de l'antenne n'est pas adaptée à l'impédance de sortie de l'émetteur, la puissance RF rayonnée apparente est réduite de la puissance réfléchi. La mesure de la puissance directe et de la puissance réfléchi provenant d'un système d'antenne à l'aide d'un wattmètre RF fait partie de la maintenance périodique du système radioélectrique nécessaire pour garantir un fonctionnement optimal de l'équipement de communication. Le système devrait présenter une impédance de charge acceptable (TOS < 2:1) à l'émetteur en ondes décimétriques pour que celui-ci fonctionne avec une efficacité raisonnable. Il est également souhaitable de concentrer le rayonnement de l'antenne à proximité de l'angle d'azimut et l'angle d'élévation où la propagation ionosphérique vers d'autres stations de réception est efficace.

Les principaux facteurs qui déterminent le choix de l'antenne la mieux indiquée pour une application donnée sont les suivants:

- gamme de fréquences;
- gain;
- directivité, angle d'élévation, diagramme de rayonnement dans le plan horizontal et dans le plan vertical;
- puissance rayonnée totale;
- dimensions et complexité, contraintes liées au terrain;
- ouverture de faisceau;
- largeur de bande de l'antenne, impédance d'entrée.

#### 4.6.1 Antennes et équipement auxiliaire

Les antennes typiquement utilisées pour les communications en ondes décimétriques sont les antennes en losange, les antennes log-périodiques et les doublets demi-onde. Les antennes du premier et du deuxième type sont utilisées pour les applications point à point. Celles du troisième type, habituellement utilisées dans les zones rurales car leur installation et leur maintenance sont simples et peu coûteuses, seront décrites par la suite.

#### 4.6.1.1 Antennes doublets demi-onde

Les antennes doublets demi-onde constituent une catégorie élémentaire d'antennes accordées et sont à la base de nombreux autres systèmes d'antennes complexes. Les éléments suivants sont pris en considération dans leur conception:

- La longueur physique d'une antenne demi-onde peut être calculée à l'aide de la formule:

$$\text{Longueur} = k(150/f) \quad \text{m} \quad (1)$$

où:

$f$ : fréquence (MHz)

$150/f$ : longueur d'une demi-onde en espace libre

$k$ : facteur de correction à utiliser pour le rapport longueur/diamètre particulier du conducteur utilisé.

L'équation 1 est suffisamment précise pour des antennes filaires présentant des fréquences allant jusqu'à 30 MHz.

- La résistance ohmique d'une antenne demi-onde est généralement suffisamment faible, comparée à la résistance de rayonnement, pour être négligée dans tous les cas.
- La résistance de rayonnement d'une antenne demi-onde est généralement prise comme égale à environ 60-70  $\Omega$ . L'impédance de l'antenne dépend également du diamètre du conducteur par rapport à la longueur d'onde.
- Le rayonnement d'une antenne doublet n'est pas uniforme et varie en fonction de l'angle par rapport à l'axe du fil.
- Ce type d'antenne est généralement utilisé sur de courtes distances.

L'antenne doublet est généralement une antenne demi-onde, polarisée horizontalement, à largeur de bande étroite et facile à installer. Elle présente une très faible directivité en azimut pour les grands angles de rayonnement qui sont nécessaires pour les communications à courte distance.

La hauteur (en longueurs d'onde) de l'antenne au-dessus du sol détermine généralement l'angle d'élévation du rayonnement. L'angle optimal dépend de la hauteur apparente de l'ionosphère et de la distance par rapport à l'autre station. Les angles d'incidence désirés et les meilleures hauteurs pour 1F2 sont indiqués dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Distance (km)	Angle d'incidence (degrés)	Hauteur au-dessus du sol (longueur d'onde)
200	60-75	0,28
400	45-65	0,33
800	30-45	0,42
1 200	20-35	0,55
1 600	15-25	0,72

Il n'est pas possible d'installer l'antenne à la hauteur optimale pour toutes les fréquences. L'antenne doublet large bande a besoin d'une ligne d'alimentation pour toutes les fréquences et n'a pas besoin d'être très accordée lorsque la fréquence est modifiée. Elle doit toutefois présenter une charge

acceptable à l'émetteur sur toute la gamme de fréquences. L'antenne contient en effet des éléments résistifs qui réduisent son efficacité. Ces antennes conviennent pour des distances courtes ou moyennes et de grands angles de rayonnement.

#### 4.6.2 Spécifications des antennes

Puisque notre propos concerne les antennes en ondes décamétriques, la gamme de fréquences concernée est celle située entre 2 et 30 MHz. Le gain est le rapport de la densité de puissance rayonnée par l'antenne dans une direction donnée à celle rayonnée par une antenne de référence (habituellement une source isotrope) lorsque les deux antennes ont la même puissance d'entrée. La directivité est le rapport de la puissance maximale rayonnée par une antenne à la puissance rayonnée moyenne. Le gain et la directivité sont liés en ce sens que toute augmentation de gain se traduit par une meilleure directivité car la puissance rayonnée totale reste constante. Ainsi une augmentation de puissance dans certaines directions se traduit par une baisse de puissance dans d'autres. Généralement la directivité est exprimée en termes de diagrammes angulaires verticaux (angle d'incidence) et horizontaux (ouverture de faisceau en azimuth). Les combinaisons de caractéristiques essentielles des nombreux types d'antennes couramment utilisés en ondes décamétriques sont différentes pour répondre aux besoins spécifiques d'une liaison radioélectrique.

Le Tableau 3 récapitule un bon nombre des caractéristiques importantes des antennes en ondes décamétriques. La directivité horizontale est importante car l'antenne peut être située physiquement ou orientée directionnellement vers la direction considérée.

TABLEAU 3

## Spécifications des antennes en ondes décamétriques

Type d'antenne	Gamme de fréquences <sup>(1)</sup> (MHz)	Largeur de bande <sup>(2)</sup>	Angle de site (degrés)	Angle du faisceau horizontal (degrés)	Gain (dBi)	Superficie (hectares)	Portée <sup>(3)</sup>	Utilisation <sup>(4)</sup>
Dipôle	2-30	Bande étroite	10-90	2-80	2	0,4	C-M	S-R
V inversé	2-30	Bande étroite	40-90	OMNI	2	0,4	C	S-R
L inversé	2-30	Bande étroite	20-90	80-180	3	0,4	C-M	S-R
Fouet de véhicule	2-30	Bande étroite	20-50	OMNI	3	Véhicule	M	M
Quart d'onde verticale	2-30	Bande étroite	5-40	OMNI	3-5	0,4	M-L	S-R
Antenne-cadre à quarts	5-30	Bande étroite	10-90	80-120	3	0,4	M	S-R
Long fil	3-30	Large bande	10-30	10-30	4-10	1,2	M-L	P
Antenne en V	3-30	Large bande	5-30	5-30	4-16	1,6	M-L	P
Antenne Yagi	7-30	Bande étroite	10-35	30-60	7-12	0,4	M-L	S-R
Antenne en demi-losange	3-30	Large bande	10-40	5-30	5-12	1,2	M-L	P
LPA verticale	4-30	Large bande	5-40	100	6-12	1,2-2	M-L	P
LPA horizontale	2-30	Large bande	10-45	40-75	8-16	0,4-2,4	M-L	P
LPA orientable	4-30	Large bande	5-50	60-70	8-12	0,4	M-L	S-R-P

LPA: antenne log-périodique (*log-periodic antenna*)

<sup>(1)</sup> Gamme de fréquences typique du type d'antenne (pas d'une antenne individuelle).

<sup>(2)</sup> Les angles de rayonnement sont donnés à des fins de comparaison. Les valeurs sont des valeurs moyennes. Les valeurs effectives dépendent de la conductivité, du sol de la hauteur de l'antenne et de la fréquence de fonctionnement.

<sup>(3)</sup> C-Courte-0-400 km; M-Moyenne 400-4 000 km; L-Longue-plus de 4 000 km.

<sup>(4)</sup> S-Sol-air; M-Mobile; R-Station de réseau fixe; P-Point à point.

#### 4.6.2.1 Gamme de fréquences de fonctionnement

La gamme de fréquences de fonctionnement détermine les caractéristiques de largeur de bande de l'antenne. Elle est établie à partir d'un programme informatique d'analyse de la propagation qui permet de calculer les fréquences de trafic optimales pour le trajet considéré. On utilise alors une fréquence assignée proche de la fréquence de trafic optimale ou inférieure à celle-ci.

#### 4.6.2.2 Largeur de bande

La largeur de bande est la bande dans laquelle le système de communication peut être utilisé sans qu'il soit nécessaire de modifier ou d'accorder l'antenne. Les antennes peuvent être subdivisées en antennes à bande étroite (antenne doublet ou antenne yagi) ou en antennes large bande (antenne log-périodique ou antenne verticale en demi-losange).

#### 4.6.2.3 Gamme horizontale

La gamme horizontale des angles de rayonnement (ouverture de faisceau) nécessaire pour une antenne est déterminée par la superficie à desservir. Pour un fonctionnement multipoint ou en réseau, on aura peut-être besoin d'un diagramme de rayonnement large ou équidirectif alors que pour les circuits point-à-point on peut utiliser des antennes à faisceaux étroits, de gain élevé et directives.

#### 4.6.2.4 Choix des antennes

Dimensions physiques: un facteur important dans le choix des antennes en ondes décimétriques est la dimension physique du site nécessaire pour ériger l'antenne. Une antenne devrait être érigée sur un terrain plat, dégagé, sans arbres, bâtiments, haies, lignes électriques ou autres obstacles naturels. Pour les grandes antennes-réseaux en ondes décimétriques on a besoin de superficies importantes. L'absence d'espace disponible peut imposer le choix d'antennes plus petites présentant un gain moins important.

Le choix des antennes comporte les Etapes suivantes:

*Etape 1:* Détermination de la gamme de fréquences de fonctionnement et choix de la largeur de bande nécessaire. Si on a besoin d'une antenne large bande mais qu'elle n'est pas disponible, on peut choisir deux ou plus de deux antennes à bande étroite conçues pour la gamme de fréquences.

*Etape 2:* Détermination de l'angle de site requis pour la distance du trajet requise.

*Etape 3:* Détermination de la zone de couverture requise: couverture équidirective, bi-directionnelle ou point-à-point.

*Etape 4:* Détermination de l'antenne qui possède les qualités souhaitées et produit le gain le plus élevé dans la direction souhaitée. Vérification pour déterminer si l'antenne choisie peut être érigée sur l'espace disponible. Si l'antenne doit être construite sur place, vérifier si tous les matériaux nécessaires sont disponibles. Si l'espace et les matériaux ne sont pas disponibles on sera peut-être amené à choisir une antenne moins performante.

### 4.7 Caractéristiques de fonctionnement des équipements

#### 4.7.1 Sous-système d'émission

*Émetteurs en ondes décimétriques types:*

Les émetteurs en ondes décimétriques sont disponibles en plusieurs dimensions et plusieurs gammes de puissance. Deux gammes de puissance – faible puissance (moins de 1000 W) et puissance moyenne (de 1000 à 10000 W) – ont été choisies comme représentatives des équipements disponibles. La puissance d'émission est étroitement liée aux éléments à prendre en considération pour les prévisions de la propagation. Les émetteurs types de puissance moyenne ont en général les mêmes caractéristiques électriques que les émetteurs plus petits. Les différences notables concernent la taille, le poids et la puissance nécessaire à l'entrée.

*Caractéristiques types des émetteurs de faible puissance en ondes décimétriques*

Gamme de fréquences: 1,6-30 MHz

Puissance de sortie: 400 W

Modes de fonctionnement:	Ondes entretenues, BLUS, BLUI, BLI, MA, MDF
Impédance de sortie:	50 $\Omega$ , asymétrique
Commande de fréquence:	Synthétiseur de fréquences, télé-commandé ou non avec présélection disponible, syntonisation automatique avec priorité à commande manuelle
Refroidissement:	Air forcé, filtré
Conditions ambiantes:	0° à 50° C, 90% d'humidité relative
Puissance à l'entrée:	115/230 V courant alternatif, 50/60 Hz monophasé 1 200 W.

*Installation:*

Les émetteurs de cette gamme de puissance peuvent être installés dans des armoires standard. Un émetteur complet comme celui décrit ci-dessus peut être installé dans un espace d'environ 0,3 m et pèse environ 160 kg. Deux émetteurs de ce type peuvent être facilement installés dans une armoire standard de 183 cm de hauteur en laissant suffisamment de place entre les unités pour le système de refroidissement.

*Fonctionnement:*

Un émetteur de faible puissance type peut être utilisé avec des stations fixes ou des stations transportables. La fréquence est fixée par un excitateur synthétisé amovible qui peut être installé à l'extérieur de l'armoire de l'émetteur, ailleurs dans la station. Il permet de présélectionner un certain nombre de canaux.

#### 4.7.2 Sous-système de réception

Il existe deux grandes catégories de récepteurs en ondes décimétriques à couverture générale. Les récepteurs à fréquence fixe, conçus avec des cadrans de calage de fréquence ou des commutateurs, sont destinés à fonctionner sur une seule fréquence pendant des heures ou des journées. Les récepteurs synthétisables, conçus pour des changements de fréquence rapides, conviennent mieux pour les recherches de signaux. Ils peuvent avoir une fonction de verrouillage de fréquence pour éviter tout changement accidentel de fréquence. Certains récepteurs disponibles sur le marché couvrent à la fois les ondes décimétriques et les ondes métriques. Les caractéristiques d'un récepteur générique type de haute qualité sont les suivantes:

*Récepteur mono ou multicanal*

Gamme de fréquences:	1,6-30 MHz
Stabilité de fréquence:	à $1/10^6$ près
Modes de fonctionnement:	Ondes entretenues, BLUS, BLUI, BLI, MA, MDF
Sensibilité:	0,5 $\mu$ V pour 10 dB $(S+N)/N$
Largeurs de bande:	Sélectionnable pour 2,1, 3 et 6 kHz
Impédance d'entrée:	50 $\Omega$ , asymétrique
Gamme de température:	-30° C à +50° C, 95% d'humidité relative
Puissance d'entrée:	115/230 V courant alternatif, 50/60, monophasé 125 W
Dimension:	13 cm de hauteur, 48 cm de largeur, 48 cm de profondeur
Poids:	45 kg.

### 4.7.3 Émetteurs-récepteurs en ondes décamétriques

#### *Émetteurs-récepteurs types en ondes décamétriques*

De nombreux types d'émetteurs-récepteurs sont disponibles dans le commerce. Ils ont pour la plupart d'entre eux, des puissances de sortie comprises entre 100 et 200 W et ils sont tout indiqués pour les petits sites de communication. Un émetteur-récepteur type sera un dispositif à l'état solide, y compris l'amplificateur final. La fréquence peut être changée rapidement sans optimisation ou syntonisation. La stabilité, excellente, n'a pratiquement pas besoin d'être ajustée entre les changements de fréquence. Les émetteurs-récepteurs sont légers et entièrement autonomes, et n'ont besoin que d'un microphone ou d'une clé connectée à l'entrée et d'une antenne adaptée connectée à la sortie. Les principales caractéristiques d'un émetteur-récepteur type en ondes décamétriques sont les suivantes:

Gamme de fréquences:	1,6-30 MHz
Calage de fréquence:	Commutateurs à décades ou syntonisation continue par cadran avec verrouillage de fréquence
Modes de fonctionnement:	Ondes entretenues, BLUS, BLUI, BLI, MA, MDF
Puissance en sortie:	Puissance de crête de 150 W ou puissance moyenne de 100 W
Impédance de sortie:	50 $\Omega$ , asymétrique
Largeurs de bande:	2,7-3,0 kHz pour les équipements BLU, 375 Hz pour les équipements en ondes entretenues
Sensibilité du récepteur:	0,5 $\mu$ V pour un rapport $(S+N)/N$ de 10 dB
Gamme de températures:	-30° C à +50° C, 95% d'humidité relative
Puissance à l'entrée:	115/230 V courant alternatif, 50/60 Hz, monophasé 400 W
Dimensions:	18 cm de hauteur, 43 cm de largeur et 43 cm de profondeur
Poids:	50 kg.

#### 4.7.3.1 Composants auxiliaires en ondes décamétriques

##### *Composants auxiliaires en ondes décamétriques*

Il faut généralement en plus de l'émetteur ou du récepteur des périphériques pour constituer un système d'exploitation complet. Certains des composants courants utilisés sont décrits ci-après:

*Filtres passe-bas:* l'utilisation de filtres passe-bas à la sortie des émetteurs en ondes décamétriques est souvent nécessaire. Etant donné que les fréquences au-dessus de 30 MHz sont utilisées par de nombreux services de faible puissance sensibles au brouillage des harmoniques des émetteurs de forte puissance, il faut prendre des mesures pour supprimer le plus possible ces rayonnements non essentiels. Il existe des filtres passe-bas ayant un affaiblissement allant jusqu'à 60 dB aux fréquences au-dessus de 32 MHz pour des puissances d'émetteur allant jusqu'à 40 000 W. Les filtres adaptés font partie intégrante des émetteurs de forte puissance.

*Présélecteurs:* un présélecteur a pour objet de minimiser la surcharge du récepteur provenant des émetteurs à proximité ainsi que les brouillages produits par les canaux RF adjacents. Un présélecteur est nécessaire lorsque le récepteur doit fonctionner dans un environnement radioélectrique caractérisé par la présence de signaux brouilleurs intenses, ce qui se traduit par des problèmes d'intermodulation et de surcharge des étages d'entrée. Il existe des présélecteurs qui permettront de protéger les récepteurs contre des signaux d'une puissance pouvant aller jusqu'à 200 V à des fréquences éloignées de 10% ou plus de la fréquence désirée.

## 5 Etudes de site

Les principaux objectifs techniques pour un bon site radioélectrique en ondes décimétriques sont d'obtenir le rapport  $S/N$  maximal côté récepteur et la puissance apparente rayonnée maximale dans la direction désirée côté émetteur. La topographie du site a une incidence sur le signal rayonné par l'émetteur et sur le signal reçu par le récepteur. La présence de bruit naturel et de bruit artificiel empêche d'obtenir un bon rapport  $S/N$  à la réception. Le choix des bonnes constantes du sol améliore les caractéristiques de fonctionnement des antennes d'émission et de réception. Ces facteurs et d'autres qui interviennent dans le choix des sites pour les systèmes en ondes décimétriques nécessitent souvent de faire des compromis entre économie, disponibilité et commodité. Le présent paragraphe détermine les éléments à prendre en compte pour ce qui est de la topographie (caractéristiques du terrain et superficie nécessaire). Des niveaux de bruit radioélectrique artificiel sont définis pour les différentes zones. Les distances entre les sites et les sources de bruit sont données. Les constantes de la terre – résistivité et conductivité – sont examinées. Les caractéristiques générales du site (disponibilité, opportunité, accessibilité et sécurité) sont évaluées du point de vue de leur influence sur le budget estimatif et des aspects pratiques.

### 5.1 Topographie

Le site radioélectrique pour systèmes en ondes décimétriques techniquement idéal est une vaste étendue de terrain plat, dégagé, éloigné de tout obstacle naturel ou artificiel. Le terrain doit être plat pour que la réflexion par le sol du rayonnement de l'antenne soit uniforme. Des obstacles peuvent masquer certains tronçons du trajet de rayonnement du signal à l'émission et à la réception.

#### *Caractéristiques topographiques du site*

La nature du terrain devant une antenne a une grande influence sur le diagramme de rayonnement dans le plan vertical. La zone de réflexion d'un bon site d'antenne sera plane et il n'y aura pas d'obstacles susceptibles d'interrompre le trajet de rayonnement.

- *Zone de réflexion:* La zone de réflexion est la zone située directement devant l'antenne qui est nécessaire pour la réflexion de la composante réfléchie par le sol du signal ionosphérique. Cette surface ne doit pas présenter de brusques variations d'élévation égales à plus de 10% de la hauteur de l'antenne ni de pente de plus de 10% dans toutes les directions. Les irrégularités de surface dans la zone devraient être limitées à un dixième de la longueur d'onde en hauteur, à la fréquence d'exploitation la plus élevée. Sur les sites fixes et sur les autres sites, chaque fois que cela est possible, la zone de réflexion devrait être parfaitement dégagée, sans arbres ni taillis. Pour limiter l'érosion, il faut conserver une petite couverture végétale (herbe, trèfle ou autre végétation).
- *Obstacles:* Dans la direction de la propagation, tout obstacle important (relief, structures artificielles, arbres) devrait sous-tendre un angle vertical égal à moins de la moitié de l'angle formé par l'horizontale et le point à 3 dB inférieur de l'angle d'incidence requis. Sur tous les sites éventuels pour systèmes en ondes décimétriques où il pourrait y avoir des obstacles, il convient de tracer manuellement un profil du site en azimut et en élévation. Des profils en élévation sont par ailleurs utiles pour une planification future, en cas d'élargissement de la zone. Pour tracer ce type de profil on peut utiliser un tachéomètre et un compas, les mesures en azimut étant corrigées des variations du champ magnétique local. Normalement, il suffira de tracer le profil en élévation par pas de 10° d'azimut.

#### *Superficie nécessaire*

La superficie d'un site pour systèmes en ondes décimétriques dépend des dimensions des antennes, de leur nombre, de l'espacement entre les antennes, de la zone de dégagement nécessaire pour la réflexion par le sol et de la zone de dégagement nécessaire pour éviter le couplage mutuel. En plus

des plans initiaux qui sont connus, il faut habituellement réserver de l'espace pour tout élargissement imprévu du champ de l'antenne. La superficie des sites peut aller de quelques hectares pour un petit site à 25 hectares (en anglais: 60 acres) pour un site moyen.

## 5.2 Choix du site de la station d'émission

Deux grands facteurs techniques peuvent influencer le choix du site pour l'installation d'une station d'émission:

- la disponibilité d'une étendue de terrain plat, dégagé, sans obstacles naturels ou artificiels, pour l'installation de l'antenne;
- la possibilité d'utiliser facilement les réseaux de distribution existants pour l'alimentation électrique de l'émetteur.

## 5.3 Choix du site de la station de réception

Un site ayant les caractéristiques suivantes permet d'avoir une bonne réception et une exploitation facile:

- une très grande superficie au sol, éventuellement une surface carrée, ce qui permet d'installer de façon optimale les antennes directives, à une distance appropriée (200 à 300 m pour la réception en diversité) et d'obtenir un faisceau minimum comme garantie de sécurité contre des obstacles mécaniques ou des brouillages électriques à proximité;
- topographie du sol de façon à installer une antenne-réseau présentant un comportement électrique régulier;
- une vue claire et dégagée de l'horizon autour de l'antenne, pour un angle d'élévation de moins de 40°;
- un bruit artificiel négligeable par rapport au bruit atmosphérique;
- l'absence de bâtiments, de lignes haute tension ou d'autres sources de brouillage radioélectrique à proximité;
- la possibilité d'utiliser facilement les réseaux de distribution existants pour l'alimentation électrique du récepteur.

### 5.3.1 Bruit radioélectrique ambiant sur le site de la station de réception

Pour que la réception de signaux faibles provenant de stations distantes soit fiable, les antennes de réception doivent être situées dans une zone électromagnétiquement calme, exempte de bruit artificiel. Dans les bandes des ondes décamétriques, il y a trois grandes sources de bruit radioélectrique: le bruit galactique, le bruit atmosphérique et le bruit artificiel. Ce dernier type de bruit est une préoccupation majeure étant donné que c'est la seule source sur laquelle on peut avoir un certain contrôle. Sur bien des sites, c'est le bruit provenant des lignes électriques qui domine dans la partie inférieure des bandes des ondes décamétriques. Le bruit radioélectrique d'allumage des véhicules à moteur a tendance à l'emporter sur le bruit des lignes électriques dans la partie supérieure des bandes des ondes décamétriques. Les efforts de réduction des bruits intenses porteront essentiellement sur les sources voisines.

#### *Espacement des sites*

Les émetteurs radioélectriques situés à plusieurs kilomètres d'une station de réception peuvent être à l'origine de brouillages importants dus aux harmoniques ou au fonctionnement dans le même canal. A ces brouillages s'ajoutent les produits d'intermodulation qui peuvent être générés dans les récepteurs en raison des champs énergétiques intenses d'émetteurs voisins, même lorsque ces émetteurs fonctionnent sur des fréquences très éloignées les uns des autres. Les sites radioélectriques des émetteurs et des récepteurs doivent être isolés les uns des autres, éloignés

d'autres installations radioélectriques ainsi que des autoroutes très chargées en trafic, des villes, et des zones industrielles. Il faut parfois faire des exceptions pour de petits sites où les antennes ne sont pas à plus de 300 m les unes des autres. Des émetteurs de moins de 1 kW de puissance peuvent être installés sur le même site que les récepteurs si les fréquences sont choisies avec soin. L'utilisation de filtres RF peut être nécessaire lorsque les émetteurs et les récepteurs sont installés sur le même site.

### 5.3.2 Constantes de la terre

La résistivité et la conductivité de la terre et la constante diélectrique relative sur le site pour systèmes en ondes décimétriques doivent intervenir dans le choix du site. La résistivité de la terre a une incidence sur la qualité du système de mise à la terre. Une bonne conductivité de la terre augmente la portée de la propagation des ondes de sol et diminue l'angle d'incidence des signaux réfléchis par l'onde ionosphérique, accroissant ainsi leur portée. Il est difficile de mesurer avec précision la conductivité du sol mais on peut en faire des estimations en fonction de la nature du terrain.

### 5.3.3 Caractéristiques générales du site

Indépendamment des facteurs techniques, d'autres caractéristiques importantes de nature générale devraient être prises en compte lors du choix des sites pour systèmes en ondes décimétriques, à savoir, la disponibilité, l'adéquation, l'accessibilité et la sécurité:

#### *Disponibilité*

Un terrain qui respecte le critère de planitude d'un site pour systèmes en ondes décimétriques est généralement un terrain à construire ou un terrain agricole. L'acquisition de ce terrain même pour de petits sites peut être très chère. En fait, l'achat du terrain peut être le plus gros poste de dépenses. Par conséquent, l'utilisation des installations existantes devrait toujours intervenir dans le choix du site. La solution la moins chère pour l'implantation d'une station en ondes décimétriques consiste à utiliser ou à élargir un site existant.

#### *Adéquation*

L'adéquation générale d'un site éventuel dépend de l'ampleur des travaux nécessaires pour l'aménagement du site, la mise en œuvre et la maintenance des installations. L'existence et la capacité des réseaux publics de distribution à proximité (électricité, eau, gaz, évacuation des eaux usées) sont des facteurs importants dans le choix du site. Il convient de recueillir et d'examiner les informations concernant les conditions géologiques – sol, drainage, vent et autres données météorologiques (y compris le gel) et activité sismique. L'ingénieur responsable des installations de soutien devrait fournir les données concernant les sols et l'assainissement. Les stations météorologiques locales fournissent les données sur le vent et les données météorologiques alors qu'une étude géologique ou le département de géophysique d'une université voisine peuvent fournir des statistiques concernant l'activité sismique.

#### *Accessibilité*

L'accès aux sites pour stations en ondes décimétriques devrait être assuré par des voies et des routes adjacentes conduisant au site. Les pentes, les passages étroits, les virages, les hauteurs et largeurs maximales, le revêtement, l'exiguïté des voies de sortie ainsi que les limitations de poids sur les ponts et les tranchées d'écoulement des eaux doivent être tels qu'il est possible d'assurer le transport des équipements pendant l'installation ainsi que pendant l'exploitation de soutien et la maintenance après l'installation. L'ingénieur responsable de l'installation devrait être consulté sur les conditions des voies d'accès ou pour la construction de nouvelles voies.

### *Sécurité*

Le choix du site radioélectrique pour stations en ondes décamétriques devrait être dicté par certains facteurs: constructions de barrières, éclairage de la zone, systèmes de garde et d'alarme, proximité par rapport à d'autres installations.

#### **5.3.4 Procédures des études de site**

Les études de site sont effectuées pour déterminer si le terrain sur le plan technique et général convient pour l'implantation de stations d'émission ou de réception en ondes décamétriques. Les critères de chaque étude seront uniques, qu'il s'agisse du nombre et de la taille des émetteurs, du nombre de récepteurs, de la superficie nécessaire ou des caractéristiques topographiques pour les antennes. La procédure de sélection d'un site pour une station radioélectrique d'émission ou de réception comporte trois étapes distinctes:

*Etape 1:* études des cartes, études de propriété, études logistiques, planification à long terme pour sélectionner plusieurs terrains possibles.

*Etape 2:* Deuxième étape: études de site préliminaires conduites par des équipes pour recueillir des informations générales sur tous les terrains possibles, à partir desquelles la liste des sites possibles est réduite à un petit nombre.

*Etape 3:* Troisième étape: les équipes visitent un ou plusieurs des sites qui ont été retenus en dernière analyse. Elles recueilleront des informations détaillées qui seront analysées pour déterminer l'adéquation du ou des sites. A partir de ces informations, on choisira le meilleur site pour la station.

Pour plus d'informations, consulter le Manuel de l'UIT-R sur le Contrôle du spectre.

#### **5.3.5 Plans de construction**

Il n'y a pas de configuration standard pour l'agencement des sites pour des stations en ondes décamétriques car ces stations sont très variées. Certains facteurs ou éléments à prendre en considération dans l'agencement et l'aménagement de ces stations sont décrits dans le présent paragraphe. Pour les systèmes fixes en ondes décamétriques de petite taille ou de taille moyenne, le choix des bâtiments, du terrain et de l'installation physique connexe se limite en général à la modification des installations existantes. Pour la mise en place des systèmes de radiocommunication en ondes décamétriques à l'intérieur des bâtiments existants et la disposition des antennes sur le terrain il suffit d'adapter le nouveau système aux installations disponibles. Les spécifications concernant la disposition des antennes sur le terrain sont fonction de la superficie disponible pour prévoir les zones de réflexion et les zones de dégagement nécessaires pour éviter le couplage mutuel entre antennes. L'espacement entre les stations pour la réception en diversité et les interconnexions entre les antennes et les équipements sont d'autres éléments à prendre en considération. Les agencements types des sites qui peuvent servir de point de départ pour le concepteur, sont décrits dans le présent paragraphe. Il est essentiel d'établir rapidement le calendrier des différentes opérations nécessaires pour l'installation pour que l'implantation des systèmes de communication portables en ondes décamétriques s'effectue dans de bonnes conditions.

#### **5.3.6 Disposition des antennes des stations en ondes décamétriques**

Le bon positionnement des antennes est déterminant pour le bon fonctionnement des stations de radiocommunication en ondes décamétriques. La disposition des antennes de stations en ondes décamétriques nécessite de trouver un juste équilibre entre plusieurs facteurs: le choix de bons sites, le fait de tirer parti des caractéristiques naturelles du terrain, l'espacement entre les sources de bruit, la prise en compte des contraintes liées à l'appui logistique et à l'accessibilité. La disposition des antennes de stations en ondes décamétriques sur le site retenu est dictée par trois éléments: l'étendue

nécessaire de la zone de réflexion, les zones de dégagement mutuelles et la configuration physique des installations connexes.

#### *Superficie des zones de réflexion*

La zone de réflexion est l'espace nécessaire devant une antenne pour la formation du lobe de réflexion par le sol. Le lobe principal d'une antenne de station d'émission ou de réception en ondes décimétriques est formé par l'interaction du rayonnement direct et de la réflexion au sol. La zone de réflexion idéale a les caractéristiques suivantes:

- c'est une surface terrestre ou une étendue d'eau parfaitement plane et dégagée;
- elle est de taille suffisante, laquelle est fonction de la fréquence d'exploitation et de l'angle d'incidence; et
- elle a la forme d'une ellipse dont le grand axe est dans la direction du diagramme de rayonnement de l'antenne.

#### *Couplage mutuel*

Le couplage mutuel est l'effet produit par une antenne sur une autre antenne lorsque ces deux antennes sont situées dans la même zone. Il y a couplage mutuel lorsque:

- le diagramme de rayonnement d'une antenne coupe une autre antenne;
- les antennes agissent l'une sur l'autre car elles sont trop proches; ou
- il y a couplage entre l'antenne et un objet ou une structure métallique.

Le couplage mutuel peut modifier le diagramme de rayonnement de l'antenne, être à l'origine d'affaiblissements importants par réflexion, modifier la fréquence de résonance ou causer des brouillages à d'autres systèmes. Il peut être calculé en fonction de la distance de séparation, de la fréquence d'exploitation ou du gain d'antenne.

#### *Autres considérations touchant à l'emplacement de l'antenne*

Indépendamment des distances de séparation à respecter pour éviter le couplage mutuel, les antennes fonctionnant en diversité d'espace doivent être suffisamment éloignées les unes des autres pour pouvoir fonctionner correctement. Les antennes de réception fonctionnant en diversité d'espace doivent être éloignées les unes des autres d'au moins 300 m et, lorsque l'espace le permet, d'une distance égale à cinq longueurs d'onde, à leur fréquence d'exploitation la plus faible. Dans un système d'antenne fonctionnant en diversité d'espace, on prévoira un espacement latéral et un espacement longitudinal suffisants. Parmi les autres considérations, on citera:

- exigences à respecter pour une antenne de secours;
- prévoir suffisamment de place pour une expansion future;
- itinéraires courts et directs pour les lignes de transmission;
- bonne configuration de la ligne de transmission;
- entrée du bâtiment;
- localisation des équipements avec le bâtiment;
- espacement entre les lignes de transmission;
- dégagement des voies de service et des obstacles devant les antennes.

### **5.3.7 Aménagement type d'un site fixe**

Les dimensions physiques et l'aménagement d'une station en ondes décimétriques sont dictées par le trafic de communication que l'installation est censée traiter. Pour des antennes en ondes décimétriques simples, on a souvent besoin de moins d'un demi hectare de superficie mais pour une

grande antenne fixe en ondes décimétriques, on peut avoir besoin d'un espace allant jusqu'à 6 hectares (en anglais 15 acres). Une petite station d'émission comportera un seul émetteur utilisant une antenne Yagi ou log-périodique orientable et émettra sur différents azimuts. Un site analogue pour station de réception suffisamment éloigné pourrait abriter également des installations de télécommande pour l'émetteur. L'émetteur et le récepteur d'une installation monocircuit peuvent être situés sur le même site et cette installation peut utiliser la même antenne en mode simplex. Une installation de taille moyenne pourrait comprendre plusieurs systèmes d'antenne fixes desservant un nombre égal d'émetteurs et de récepteurs sur des sites distants les uns des autres de 16 km.

Des générateurs de puissance de 100 kW de puissance en sortie ou moins peuvent être intégrés dans le complexe des bâtiments d'exploitation mais en principe ils sont installés dans un bâtiment distinct, à proximité. Le bâtiment des générateurs de puissance devrait être une construction métallique avec un périmètre bien délimité; des installations de stockage de carburant devraient être prévues. Le carburant peut être stocké dans des réservoirs non enterrés situés à proximité du bâtiment des générateurs de puissance mais de préférence ils devraient être enterrés dans une tranchée, à moins de 10 m du bâtiment des générateurs de puissance.

### 5.3.8 Essais du système et plans d'évaluation

Il est important de faire des essais du système et d'évaluer l'installation dans un environnement performant. Pendant la phase d'analyse et de conception du système, il convient de réfléchir à la façon dont ce système sera testé et évalué une fois qu'il aura été installé. Une des mesures importantes que doit prendre l'ingénieur responsable est l'élaboration d'un plan d'évaluation et d'essai du système qui sera exécuté une fois le système installé et l'exploitation démarrée. Dans les cas où un réseau est concerné, le gestionnaire du réseau devrait être mis à contribution et le plan de conception du réseau devrait faire partie intégrante des essais finals du système. Le plan des essais du système pourrait comporter les éléments suivants:

- performance du système;
- performance du réseau;
- débit de données et débit de messages;
- considérations touchant à la puissance;
- sécurité physique et sécurité du réseau.

## 6 Essais du système

Pendant la troisième phase d'installation du système de radiocommunication en ondes décimétriques, le plan d'évaluation et des essais doit être mis en œuvre. Les éléments à prendre en considération pourraient être les suivants:

### *Vérification du système:*

- fonctionnement de tous les équipements, c'est-à-dire notamment réglage de la puissance de l'émetteur, lecture des afficheurs, orientation des antennes, etc.;
- vérifier que l'équipement fonctionne correctement;
- vérifier que les émetteurs et les récepteurs fonctionnent conformément aux spécifications;
- caractéristiques de fonctionnement des antennes;
- toutes les stations sont-elles desservies?
- les diagrammes de rayonnement sont-ils ceux escomptés?
- le bruit environnemental est-il celui escompté?

*Vérification du réseau:*

- bonnes connexions du réseau;
- encombrement raisonnable;
- bonnes capacités du réseau;
- nombre raisonnable de défaillances du système;
- bonne installation logicielle;
- tables d'acheminement du réseau bien remplies;
- fonctionnement correct des embrouilleurs de protection des liaisons.

*Débit de données et débit de messages:*

- bonnes liaisons avec toutes les stations;
- traitement adéquat des messages prioritaires;
- débit de messages de données adéquat.

*Considérations touchant à l'alimentation électrique:*

- alimentation électrique suffisante pour toutes les opérations, notamment dans des situations d'urgence;
- alimentation électrique dépourvue de perturbation (minimum de bruit et de fluctuations).

*Examen du plan de sécurité du site:*

- sécurité physique suffisante pour tous les paramètres;
- aucun risque imputable à la construction ou à la mise en œuvre;
- bon fonctionnement de la sécurité du réseau.

## **7 Conclusion**

La conception des systèmes de radiocommunication en ondes décimétriques n'est pas difficile si une bonne planification préalable est faite et si le responsable du projet est bien conscient de ce qui doit être fait. Pour résumer les principales étapes, on peut dire ce qui suit:

**7.1** A partir de la définition et de l'analyse des besoins, concevoir un système préliminaire et procéder à une étude de faisabilité. Ce plan définit les besoins en ce qui concerne les fréquences, le personnel, l'appui, les problèmes locaux, le type de communication, la fiabilité, le terrain, l'impact environnemental, les dates principales, etc. Il devrait y avoir également une estimation détaillée de tous les aspects connus de la conception. Les différentes mesures à prendre pendant la conception du système sont énumérées dans le Tableau 4.

TABLEAU 4  
Procédures de conception progressive du système

Mesure N°	Tâche à exécuter
1	Elaborer un organigramme du système
2	Choisir provisoirement des sites pour les stations en ondes décimétriques
3	Déterminer l'emplacement définitif des sites à partir des données d'une étude de terrain
4	Déterminer le gain total requis du système
5	Elaborer un organigramme pour chaque installation
6	Rechercher les fournisseurs d'équipement possibles – inventaires militaire et commercial
7	Elaborer les spécifications et les équipements ne figurant pas dans l'inventaire
8	Elaborer des schémas d'application des sous-systèmes des équipements pour chaque installation
9	Plan d'installation (spécifications et schémas)
10	Définir les procédures d'essai de recettes pour chaque équipement, chaque sous-système et pour l'ensemble du système

**7.2** On procède alors à l'analyse et à la conception du système pour déterminer les éléments détaillés de la topologie du réseau, les paramètres d'exploitation, les prévisions de la propagation, le choix des équipements, les questions de performance, les études de site et les plans de construction. Fait également partie de la conception du système l'élaboration d'un plan pour les essais et les évaluations.

**7.3** La troisième partie de la phase d'évaluation et d'essai du système est celle pendant laquelle les paramètres détaillés du système sont vérifiés pour s'assurer que ce système fonctionne correctement.

L'analyste responsable du système et le gestionnaire de réseau doivent coopérer pleinement et s'assurer que tous les éléments de conception du système et de conception du réseau sont bien coordonnés.

Sous réserve d'une gestion sérieuse, le système de radiocommunication en ondes décimétriques peut être un élément précieux pour les besoins de communication de l'utilisateur type. La propagation en ondes décimétriques a de nombreux avantages et très peu d'inconvénients. Une bonne planification permet de remédier à bon nombre de ces faiblesses.