

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R F.1611**  
(02/2003)

**Méthodes de prévision destinées à la  
planification et à l'exploitation des systèmes  
adaptatifs à 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.1611\*, \*\*

**Méthodes de prévision destinées à la planification et à l'exploitation des systèmes adaptatifs à ondes décimétriques**

(2003)

**Champ d'application**

La présente Recommandation contient des indications sur la planification et l'exploitation des systèmes adaptatifs à ondes décimétriques utilisant des méthodes de prévision. Elle traite de la planification des fréquences, du bilan des puissances et du processus de conception et comporte de nombreuses références à d'autres Recommandations de l'UIT-R.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que le nombre de systèmes adaptatifs à ondes décimétriques en exploitation augmente, en particulier le nombre de systèmes d'établissement automatique des liaisons (*ALE, automatic link establishment*);
- b) que l'UIT a élaboré un Manuel sur les ondes décimétriques, qui décrit la nature des systèmes adaptatifs à ondes décimétriques et leur emploi;
- c) que les systèmes à ondes décimétriques, facilitant l'adaptation des fréquences, sont contraints de mettre en service un nombre aussi petit que possible de canaux de fréquences, afin de limiter les brouillages éventuels avec d'autres utilisateurs;
- d) que la planification des fréquences HF au moyen d'un modèle permettant de prévoir avec précision leur qualité réduira les marges pour lesquelles les systèmes adaptatifs à ondes décimétriques devraient être conçus, dans un but d'adaptation, et ainsi que les procédures d'exploitation puissent réduire les brouillages éventuels et que les coûts globaux soient moindres;
- e) que la Recommandation UIT-R P.533 (et son logiciel ITUHFPROP) décrit la méthode éprouvée de l'UIT-R, permettant de prévoir la qualité des fréquences HF, et qu'elle convient pour qu'y soient incorporées d'autres méthodes de prévision (apparentées), certaines d'entre elles étant actuellement utilisées pour la commande de divers systèmes quasi adaptatifs à ondes décimétriques et pour la conception de systèmes utilisant certaines formes d'établissement des liaisons ALE;
- f) que d'autres méthodes de prévision apparentées, telles que la famille de programmes IONCAP, sont tenues à jour sur le site web de l'ITS (Institute for Telecommunications Sciences), accessible au grand public, et sur lequel est aussi tenue à jour la Recommandation UIT-R P.533;
- g) que toutes les méthodes téléchargées sur le site web de l'ITS (y compris la Recommandation UIT-R P.533 et les programmes VOACAP et ICEPAC) disposent de méthodes d'entrée ou de sortie qui peuvent être adaptées les unes aux autres sans trop de peine,

---

\* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 3 des radiocommunications.

\*\* 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.

*notant,*

- a) que dans la Recommandation UIT-R F.1110 sont définies les caractéristiques générales des systèmes adaptatifs à ondes décimétriques, et qu'il y est reconnu en particulier que les systèmes adaptatifs à ondes décimétriques permettent:
- d'atteindre une qualité de service plus élevée, en combinant la capacité d'exploiter la technologie moderne des équipements radio et un logiciel perfectionné de commande en temps réel;
  - de réduire les temps de transmission d'où une utilisation plus efficace du spectre, une diminution des brouillages entre les différents utilisateurs et une possibilité d'augmenter la densité du trafic;
- b) que la Recommandation UIT-R F.1337 préconise l'utilisation, pour les réseaux adaptatifs à ondes décimétriques, des techniques de gestion automatique et adaptative,

*recommande*

1 que les administrations qui prévoient de se procurer et de mettre en place des systèmes adaptatifs à ondes décimétriques et des systèmes d'établissement automatique des liaisons, en se fondant sur les renseignements donnés à l'Annexe 1, envisagent, préalablement, l'emploi de modèles permettant de prévoir avec précision la qualité des fréquences HF, tels que ceux qui sont contenus dans la Recommandation UIT-R P.533, et de modèles apparentés, afin d'établir des limites d'adaptation;

2 que les modèles figurant dans la Recommandation UIT-R P.533, complétés par les éléments tels que ceux qui sont contenus dans la famille de programmes IONCAP (en option), soient les méthodes privilégiées de conception des systèmes adaptatifs à ondes décimétriques et d'incorporation éventuelle dans les modules logiciels de techniques reconnues d'évaluation en temps réel des canaux (RTCE, *real time channel evaluation*) (à savoir, les sondes dans la bande des fréquences, les sondes perfectionnées des canaux et le sondage à ondes entretenues modulées en fréquence (FM-CW, *frequency modulated continuous wave*) en dehors de la bandes des fréquences).

## Annexe 1

### Planification et exploitation des systèmes adaptatifs à ondes décimétriques au moyen de méthodes de prévision

#### 1 Introduction

La voie ionosphérique assure la connexion des liaisons dans un réseau ou un circuit radioélectrique adaptatif à ondes décimétriques. Afin de garantir une bonne utilisation de cette ressource, le système radioélectrique doit fonctionner à une fréquence idéale ou à une fréquence qui en est aussi proche que possible. Cela peut être une seule fréquence pour un circuit simplex ou deux fréquences différentes mais proches pour un circuit entièrement duplex. Les changements de fréquence seront dictés par les cycles naturels de la propagation ionosphérique, à savoir les variations diurnes ou saisonnières et celles de l'activité solaire. Les brouillages radioélectriques naturels ou causés par l'homme peuvent exiger des changements imprévus de la fréquence de fonctionnement. Les

éruptions solaires et les orages géomagnétiques aussi peuvent entraîner des ruptures de communication qui nécessitent également des changements de la fréquence de fonctionnement.

La plupart du temps, le système radioélectrique à ondes décimétriques, facilitant l'adaptation des fréquences, détectera la défaillance de la liaison, déterminera une autre fréquence utilisable, rétablira la liaison sur la nouvelle fréquence et assurera les communications sans intervention de l'opérateur. Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine d'interruptions intolérables, même avec les systèmes radioélectriques adaptatifs à ondes décimétriques les plus sophistiqués. La défaillance de l'équipement est un facteur qui est inévitable au cours du cycle de vie du système. Son effet peut être atténué par la détection des dérangements, par la fourniture d'une alimentation électrique de secours, par la prévision d'équipement de remplacement dans la conception du système. Toutefois, la plupart des interruptions sont attribuées à tort à des défaillances de propagation. Ces défaillances de propagation ne devraient se produire que dans de très rares conditions ionosphériques. Dans la plupart des cas, lorsque la puissance du signal à une fréquence donnée dans la bande des fréquences est inutilisable, ces défaillances peuvent être attribuées directement à une mauvaise conception du système. Les éléments dont il faut tenir compte lors de la conception du système seront examinés dans les paragraphes suivants. On se contentera à ce stade de dire que les points les plus courants sont les suivants:

- nombre inapproprié de fréquences inscrites sur la liste d'autorisation;
- sous-estimation de l'environnement de bruit radioélectrique au niveau des sites de réception;
- diagrammes de rayonnement des antennes qui ne concordent pas avec les angles de départ et d'arrivée de la voie ionosphérique; et
- affaiblissements excessifs dans les lignes de transmission entre l'émetteur et l'antenne de transmission ou entre le récepteur et son antenne.

## 2 Planification des fréquences

La planification des fréquences se fait au début de la phase de conception du système radioélectrique à ondes décimétriques. Pour les systèmes radioélectriques à ondes décimétriques, facilitant l'adaptation des fréquences, il est essentiel que le modèle ionosphérique permettant la prévision des fréquences contienne autant d'informations que possible sur la variation prévue de la fréquence horaire maximale utilisable autour de la valeur médiane mensuelle (à savoir la fréquence maximale utilisable (MUF, *maximum usable frequency*)), pour chacun des modes probables sur chaque liaison dans le système radioélectrique proposé. La précision nécessaire du modèle de prévision est directement liée aux rapports *S/N* très faibles, exigés par les techniques d'adaptation sophistiquées employées dans l'équipement radioélectrique moderne et dans les modems qui leur sont associés.

Nous décrivons maintenant dans les grandes lignes une procédure d'échantillonnage permettant d'employer les méthodes de prévision pour la conception et l'exploitation des systèmes adaptatifs à ondes décimétriques. L'analyse dans la présente Annexe est fondée sur la procédure VOACAP utilisée par l'Administration des Etats-Unis d'Amérique, qui a une certaine expérience de son application aux systèmes adaptatifs à ondes décimétriques. Il est vraisemblable que des procédures analogues pourraient être mises au point pour d'autres méthodes telles que la méthode privilégiée par l'UIT, la Recommandation UIT-R P.533. Actuellement, les programmes privilégiés du groupe IONCAP sont les programmes VOACAP et ICEPAC qui, avec la Recommandation UIT-R P.533, sont tenus à jour et peuvent être obtenus gratuitement par Internet auprès du Département du commerce américain à l'adresse: <http://elbert.its.bldrdoc.gov/pc-hf/hfwin32.html>. Le programme d'ordinateur de la Recommandation UIT-R P.533 prévoit la fréquence médiane mensuelle MUF. Actuellement, il ne permet pas d'obtenir explicitement, pour les modes possibles, la distribution

prévue des valeurs quotidiennes de la fréquence MUF en fonction des jours par mois à une heure donnée.

Au cours de l'évaluation d'un système adaptatif à ondes décamétriques, chaque liaison du réseau radioélectrique doit être évaluée au moyen du programme de prévision recommandé. Dans le présent exemple, nous décrivons le programme VOACAP qui appartient au groupe de programmes IONCAP. Ces méthodes de prévision ont été initialement mises au point pour les systèmes non adaptatifs. Elles peuvent toutefois être employées pour la planification des systèmes adaptatifs.

En ce qui concerne les liaisons radioélectriques à ondes décamétriques, la fréquence optimale de fonctionnement (OWF, *optimum working frequency*) pourrait être déterminée en recherchant la fréquence la plus fiable à chaque heure, à chaque saison et pour une forte et une faible activité solaire. Toutefois, pour les systèmes radioélectriques à ondes décamétriques, facilitant l'adaptation des fréquences, il faut déterminer la fréquence probable la plus haute (HPF, *highest probable frequency*). Il s'agit de la fréquence qui ne serait pas dépassée pendant plus de 10% des jours par mois à une heure donnée et pour un nombre donné de taches solaires, tandis que la fréquence OWF est la fréquence qui est dépassée pendant environ 90% des jours par mois. Le système facilitant l'adaptation des fréquences, qui fait appel à l'établissement des liaisons ALE devrait être en mesure de fonctionner à des fréquences supérieures à la fréquence médiane mensuelle MUF pendant la moitié des jours par mois. La liste d'autorisation des fréquences pour un tel système devrait comporter des fréquences supérieures à la fréquence MUF mais ne dépassant pas la fréquence HPF. Cette caractéristique d'adaptation des fréquences exige l'emploi de programmes de prévision avec précision dans la conception des systèmes de réseaux ou de circuits radioélectriques.

Il est essentiel pour la planification d'un système adaptatif radioélectrique à ondes décamétriques que l'équipement soit conçu pour fonctionner sur l'entière de la gamme des fréquences utilisables, y compris les fréquences inférieures à la fréquence MUF mais supérieures à la fréquence utilisable la plus basse (LUF, *lowest usable frequency*). Lorsque cela est possible, le système devrait fonctionner à la fréquence utilisable la plus haute qui garantisse une connexion sans erreur. Les plus hautes fréquences subiront moins de bruit radioélectrique atmosphérique ou causé par l'homme et fourniront des rapports *S/N* plus élevés pour une puissance d'émission et un gain d'antenne moindres. En concevant le système adaptatif de manière à mettre à profit l'utilisation de la fréquence la plus haute possible, on peut réduire les coûts en matière de puissance de l'émetteur et de taille des antennes d'émission et de réception. En même temps, il conviendrait d'admettre que d'un point de vue pratique, il pourrait être nécessaire d'exploiter certaines liaisons à des fréquences moins qu'optimales pour éviter l'autobrouillage ou le brouillage préjudiciable aux autres utilisateurs qui partagent le même environnement. Les prévisions en matière de fréquences permettent a priori d'évaluer des groupes de canaux sous-optimaux qui assurent dans des conditions précises la meilleure fiabilité possible du système. Il faut aussi veiller, en concevant le système, à garantir que la puissance du signal plus bruit fournie au récepteur satisfasse aux spécifications relatives à la sensibilité du récepteur proposé.

Un autre élément important concernant les fréquences est le fait qu'au cours de l'exploitation des systèmes facilitant l'adaptation des fréquences l'assignation des fréquences devrait avoir lieu plusieurs fois par jour, et en fonction des changements saisonniers et de la modification du nombre de taches solaires. Idéalement, l'échantillon de fréquences ne devrait pas comporter plus d'une demi-douzaine de fréquences à une période donnée. Cela permet au système adaptatif d'établir des liaisons plus rapidement et réduit les brouillages inutiles causés par le sondage vain des fréquences. Il faudrait aussi établir une priorité au sein de l'échantillon de fréquences de manière que pendant une période donnée la fréquence la plus fiable soit choisie en premier lieu au cours de l'établissement de la liaison. Si une fréquence est fiable à 90%, alors pendant 27 jours par mois à une heure donnée, le système devrait être réglé sur cette fréquence au cours du premier essai. Les techniques de prévision à court terme ou d'observation à un moment donné peuvent aussi garantir la réussite de la recherche de la meilleure fréquence de fonctionnement dans un temps aussi court que

possible. L'avantage de l'emploi en priorité des fréquences prévues est qu'elles ont tendance à être, pendant l'heure entière, plus stables qu'une fréquence occasionnelle déterminée par un échantillonnage aléatoire du spectre.

En bref, un système à ondes décamétriques, facilitant l'adaptation des fréquences, possède deux niveaux de commande des fréquences. Au premier niveau, les prévisions en matière de fréquences peuvent être utilisées pour réduire la gamme des fréquences à recueillir ou à sonder dans un scénario en temps réel. Le deuxième niveau de commande est défini par les propriétés des canaux, qui sont le mieux déduites d'un sondage ou d'une évaluation équivalente en temps réel des canaux, complétées par la connaissance des tendances prévues en ce qui concerne la disponibilité des fréquences, obtenue au moyen d'une procédure de prévision appropriée. Les sondages des canaux dans la bande (par exemple, les sondages pour l'établissement des liaisons ALE), les sondages au moyen des ondes entretenues modulées en fréquence dans l'entièreté de la bande ou les paramètres déduits de la modulation en usage peuvent être utilisés. (Voir le chapitre 6 du Manuel sur les systèmes et réseaux de communication, facilitant l'adaptation des fréquences dans les bandes de fréquences hectométriques ou décamétriques en ce qui concerne les techniques de sondage et RTCE.) Il reste que l'emploi des prévisions en matière de fréquences est essentiel pour l'établissement des listes indispensables des meilleures fréquences à employer par le système radioélectrique adaptatif à ondes décamétriques sur les trajets diurnes et nocturnes.

### 3 Bilan des puissances

La phase suivante dans la conception d'un système radioélectrique à ondes décamétriques, facilitant l'adaptation des fréquences, consiste à établir le bilan des puissances pour chaque liaison ionosphérique dans le circuit ou dans le réseau. Le bilan des puissances peut être considéré comme un moyen d'aboutir à la conception la plus rentable qui puisse assurer un service acceptable pendant tout le cycle de vie du système. A nouveau, pour la conception des systèmes adaptatifs à ondes décamétriques, il conviendrait d'utiliser des modèles de prévision de la qualité avec la plus grande précision possible en ce qui concerne la modélisation des variations du signal et du bruit. Les programmes devraient utiliser toutes les statistiques sur les variations prévues de l'affaiblissement de la transmission en fonction du mode et les variations en fonction du temps du bruit radioélectrique atmosphérique ou causé par l'homme.

La raison pour laquelle un tel degré de sophistication est nécessaire dans le modèle de prévision est que les systèmes adaptatifs radioélectriques à ondes décamétriques fonctionnent à des rapports  $S/N$  très faibles. Afin de s'assurer que la puissance d'émission et les antennes choisies sont appropriées à chacune des liaisons, il faut calculer soigneusement la puissance du signal et du bruit en fonction du temps et de la fréquence, qui est fournie au récepteur. Des erreurs au niveau de cette étape de la conception entraîneront des dépenses inutiles pour un travail de conception supplémentaire ou des défaillances dans les communications lorsque la puissance du signal est inférieure au seuil de détection du récepteur.

### 4 Processus de conception

La première étape dans le processus de conception consiste à évaluer le gain en puissance requis (RPWRG) prévu sur chaque liaison du réseau ou du circuit radioélectrique. Il est défini comme une puissance supplémentaire ou excédentaire, (dB) qui est nécessaire à l'obtention du rapport  $S/N$  requis pour une fiabilité donnée. Une valeur de 0 dB pour une fiabilité de 90% voudrait dire que le rapport  $S/N$  requis serait atteint ou dépassé pendant 90% des jours par mois à une heure donnée pour le circuit.

En général, le programme de prévision est mis en place avec une puissance d'émission qui est supposée égale à 1 kW et des antennes isotropiques (0 dBi). Pour éviter qu'il soit tenu compte des

modes pour lesquels les angles de départ et d'arrivée soient anormalement petits, l'angle de départ minimal qu'il faut prendre en considération est fixé à 3° au-dessus de l'horizon.

Pour le moment, une liste révisée des fréquences (jusqu'à 11 bandes des fréquences comprises entre 2 et 30 MHz peuvent être spécifiées pour un passage en machine des programmes de la Recommandation UIT-R P.533 et du groupe de programmes VOACAP) doit être établie à ce stade de la conception du système. Le but est de choisir des fréquences qui soient comprises entre la fréquence LUF et la fréquence probable la plus haute, nécessaires au fil des heures, des saisons et en fonction du nombre de taches solaires au cours du cycle de vie prévu du système. En d'autres termes, la prévision de la qualité ne devrait être faite que pour les fréquences pour lesquelles nous prévoyons la contribution de l'ionosphère. La fréquence LUF n'est pas prévue comme telle dans les programmes du groupe IONCAP ou de la Recommandation UIT-R P.533. En fait, on calcule la fiabilité prévue aux diverses fréquences, de manière à pouvoir la comparer aux spécifications en matière de services. (Aux fins de la conception, la fréquence LUF est définie comme la fréquence la plus basse qui assurera une fiabilité de 90% en ce qui concerne le respect du rapport  $S/N$  requis ou comme la fréquence égale à 90% de la fréquence MUF.) L'étape suivante consiste à décider du rapport de densité  $S/N$  minimal requis nécessaire pour permettre au système adaptatif d'assurer un niveau minimal acceptable de service. La valeur du rapport  $S/N$  requis n'est pas bien fixée à ce moment pour l'équipement radioélectrique adaptatif à ondes décimétriques. Toutefois, nous pouvons appliquer plusieurs principes directeurs avant de choisir définitivement l'équipement radioélectrique pour le service souhaité.

Les communications vocales analogiques peuvent grandement être améliorées au moyen des techniques de compression et d'expansion qui permettent d'augmenter la puissance consacrée à la transmission des signaux vocaux. En règle générale, un rapport  $S/N$  de 50 dB dans une largeur de bande de la puissance du bruit de 1 Hz fournira, au moyen de l'équipement de pointe de compression/expansion, une réception vocale de qualité commerciale.

Des systèmes numériques employés pour la transmission de la voix ou des données disposent d'une gamme importante de rapports de densité  $S/N$ . Cela est dû au fait qu'ils incorporent divers temps, espaces (trajets) et fréquences. Le coût des modems croît généralement avec le degré de diversité employé dans la conception. Un autre facteur peut être le fait que le client tolérera des débits faibles de transfert de données pendant les périodes de propagation lente. Généralement, nous pouvons supposer que l'établissement des liaisons peut être réalisé à 40 dB dans une largeur de bande de la puissance du bruit de 1 Hz. Toutefois, à ce niveau, le trafic numérique pouvant se faire est faible jusqu'à inexistant. La transmission numérique à une vitesse faible à modérée est possible pour les rapports de densité  $S/N$  de 55 à 65 dB. Les données à grande vitesse nécessitent habituellement 65 à 75 dB dans une largeur de bande de la puissance de bruit de 1 Hz.

Les rapports  $S/N$  requis sont très proches de ceux de la Recommandation UIT-R F.339. Dans le groupe de programmes IONCAP, il faut veiller à exprimer le rapport de densité  $S/N$  nécessaire dans la largeur de bande de la puissance du bruit de 1 Hz, en incluant la protection contre l'évanouissement de courte durée (habituellement 8 dB pour l'évanouissement de Rayleigh). Ces valeurs sont celles qui sont requises en ce qui concerne les fréquences radioélectriques au niveau du récepteur.

Fondées sur les enseignements tirés par l'administration des Etats-Unis d'Amérique, les prévisions en matière de qualité de fonctionnement du système devraient être faites au moyen de l'un des programmes du groupe IONCAP ou d'un programme équivalent. Il serait très souhaitable d'inclure les aspects appropriés de ce groupe et de la Recommandation UIT-R P.533 dans un ensemble optimal de procédures. Ensuite, quelle que soit l'application, la communauté des utilisateurs serait placée devant un choix plus clair. Après le choix du modèle, il conviendrait de procéder à l'analyse pour toutes les liaisons critiques, l'analyse devant couvrir le cycle de vie prévu du système. Dans le cas de systèmes dont on prévoit qu'ils fonctionneront pendant plus de cinq ans, l'analyse devrait se



faire pendant les heures d'exploitation, au cours des quatre saisons, et au cours des années ayant un nombre de taches solaires égal à 10 et à 130. Les liaisons critiques peuvent être toutes les liaisons d'un réseau ou celles dont on sait qu'elles sont inférieures. Dans les réseaux radioélectriques disposant d'une station de base fixe et d'unités mobiles sur le terrain, la liaison critique sera très probablement située au niveau de la station mobile puissance moindre et avec une petite antenne, reliée à la station de base. La situation inverse serait celle d'un environnement très bruyant au niveau de la station distante, tel qu'à bord d'un avion, etc.

Le résultat de l'analyse de prévision devrait être examiné pour déterminer le plus petit gain en puissance requis, nécessaire à chacune des fréquences susceptibles d'être retenues qui sont spécifiées au début du programme. A ce moment, il conviendrait d'analyser aussi les spécifications relatives aux angles de départ ou d'arrivée, associées au plus petit gain en puissance requis. Les résultats présentés sous la forme de tableaux concernant les plus petits gains en puissance requis et leurs angles de départ ou d'arrivée permettent d'établir le bilan des puissances pendant le cycle de vie du système pour le rapport  $S/N$  requis et un niveau minimal acceptable de service.

L'étape suivante consiste à évaluer les angles de départ ou d'arrivée et de choisir l'antenne ou les antennes nécessaires pour satisfaire aux spécifications concernant les angles pour chacune des liaisons critiques et pour toutes les fréquences requises. Il est aisé de porter sur un graphique le gain en puissance requis en fonction de l'angle de départ, puis de tracer les divers diagrammes d'antenne possibles selon les spécifications en tenant compte des diagrammes tant d'émission que de réception. Le manque de gain aux divers angles devra être compensé par une augmentation de la puissance de l'émetteur d'un nombre de dB correspondant au kW supposé. Si les gains en puissance requis sont négatifs après avoir appliqué les gains d'antennes, la puissance de l'émetteur peut être réduite d'un nombre de dB correspondant au kW.

Si les gains en puissance requis sont tellement grands que la puissance des antennes et de l'émetteur devient anormale, alors il faut diminuer le rapport  $S/N$  requis, sans descendre sous les 40 dB dans la largeur de bande de la puissance du bruit de 1 Hz. Cela peut être fait de plusieurs façons. Le type et le niveau du service peuvent être diminués ou la faculté d'adaptation de l'équipement peut être renforcée.

L'étape finale consiste à calculer les diagrammes de gain en puissance pour l'antenne d'émission et de réception, qui est susceptible d'être retenue, en veillant à tenir compte pour chacune des liaisons du fait que le lobe principal du diagramme est ou non hors azimut par rapport au trajet réel sur un grand cercle. Dans de nombreux cas, le diagramme de gain en puissance nécessaire peut être calculé au moyen du programme de calcul des diagrammes d'antenne, HFANT, qui fait partie intégrante du groupe de programmes IONCAP. Les diagrammes d'antenne sont ensuite choisis en vue de leur utilisation dans le programme de prévision de la qualité, la puissance d'émission est adaptée à la valeur déterminée ci-dessus et, si besoin est, le rapport  $S/N$  requis est aussi adapté. Le résultat de cette analyse devrait fournir la qualité prévue pour la conception proposée.

On commencera par examiner les valeurs horaires de la fiabilité à chaque combinaison d'une fréquence, d'une heure, d'un mois et d'un nombre de taches solaires. Le but est de disposer d'au moins une fréquence à chaque heure qui satisfasse ou dépasse le rapport  $S/N$  minimal requis avec une fiabilité de 90%. Si un rapport  $S/N$  minimal requis, dont on sait qu'il permet d'établir les connexions entre les liaisons, a été employé, le système devrait être en mesure d'assurer les liaisons pendant 27 jours par mois au cours de son cycle de vie. Cela suppose qu'une fréquence proche de celle qui intervient dans l'analyse de prévision est fournie parmi les fréquences assignées au système et que les conditions ionosphériques ne sont pas gravement perturbées.

Ensuite, il conviendrait d'examiner les rapports  $S/N$  médians dans le résultat de la prévision. A chaque heure au cours du cycle de vie du système, il devrait y avoir au moins de trois à cinq fréquences dont les rapports  $S/N$  médians prévus satisfont ou dépassent le rapport requis souhaité. Cela permettra au système d'utiliser au maximum la propriété d'établissement des liaisons ALE. Par

exemple, si quatre fréquences ont des rapports  $S/N$  appropriés pendant 50% des jours par mois (c'est à dire des rapports médians), la probabilité combinée pour qu'une de ces fréquences soit disponible à ce niveau ou à un niveau supérieur est de 93%, avec l'hypothèse que les distributions sont indépendantes les unes des autres. Cela peut être une surestimation pour les jours où la fréquence MUF est plus basse et où la fréquence LUF est plus haute, comme c'est le cas au cours de perturbations géomagnétiques graves. Mais cela correspond à une évaluation acceptable de la solidité de la conception, par le fait que la largeur de bande est suffisante à toute heure de manière que pour l'établissement des liaisons ALE, il puisse être trouvé une fréquence utilisable en aussi peu de temps que nécessaire.

L'étape finale consiste à examiner, à toute heure de l'analyse de prévision, la puissance du signal prévue aux trois à cinq meilleures fréquences. Bien que le rapport  $S/N$  et la fiabilité prévue puissent sembler satisfaire aux spécifications du système, cela ne garantit pas que la puissance du signal satisfasse à la spécification de sensibilité du récepteur. Dans les mises à jour ultérieures des modèles de prévision, il serait utile d'inclure le bruit thermique du récepteur dans le calcul de la puissance du bruit. Cela éviterait d'inclure cette ultime étape dans le processus de conception proposé.

## 5 Conclusions

On a présenté ici quelques principes directeurs permettant d'évaluer les systèmes quasi adaptatifs à ondes décimétriques. Ils ne sont pas censés s'appliquer dans tous les cas. Des systèmes adaptatifs particuliers peuvent nécessiter une démarche différente. L'application de ces principes directeurs permet d'améliorer la qualité de fonctionnement de ces systèmes adaptatifs à ondes décimétriques. Les principes directeurs ont été étudiés dans le présent exemple au moyen du programme VOACAP. Le modèle décrit dans la version en vigueur de la Recommandation UIT-R P.533 (à savoir le modèle REC533) pourrait certainement être examiné de la même manière.

## 6 Liste d'abréviations

ALE	établissement automatique des liaisons ( <i>automatic link establishment</i> )
FM-CW	modulation de fréquence et onde entretenue ( <i>frequency modulation and continuous wave</i> )
HFANT	programme de calcul des diagrammes d'antenne ( <i>antenna pattern calculation program</i> )
HPF	fréquence probable la plus haute ( <i>highest probable frequency</i> )
ICEPAC	analyse des profils améliorés et prévision relatives aux circuits des communications ionosphériques ( <i>ionospheric communications enhanced profile analysis and circuit prediction</i> )
IONCAP	analyse et prévision relatives aux communications ionosphériques ( <i>ionospheric communications analysis and prediction</i> )
ITS	Institute for Telecommunication Sciences National Telecommunication and Information Administration Institute for Telecommunication Sciences (NTIA) (Etats-Unis d'Amérique)
LUF	fréquence utilisable la plus basse ( <i>lowest usable frequency</i> )
MUF	fréquence maximale utilisable ( <i>maximum usable frequency</i> )
OWF	fréquence optimale de fonctionnement ( <i>optimum working frequency</i> )

RPWRG	gain en puissance requis ( <i>required power gain</i> )
RTCE	évaluation en temps réel des canaux ( <i>real time channel evaluation</i> )
VOACAP	analyse et prévision relatives aux communications de Voice of America ( <i>Voice of America communications analysis and prediction</i> )

---