

RECOMMANDATION UIT-R P.1058-1

**BASES DE DONNÉES TOPOGRAPHIQUES NUMÉRIQUES POUR
LES ÉTUDES DE PROPAGATION**

(Question UIT-R 202/3)

(1994-1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il faut disposer d'informations topographiques pour utiliser les modèles de prévision de la propagation;
- b) que les futurs modèles de prévision de la propagation permettront d'utiliser des données topographiques plus détaillées;
- c) qu'il est nécessaire de fournir des conseils techniques en vue d'élaborer les cartes topographiques numériques destinées à être utilisées pour la prévision de la propagation;
- d) que des échanges de données entre les différentes administrations sont nécessaires;
- e) qu'il est souhaitable d'établir une base de données topographiques à l'échelon international,

recommande

- 1 d'utiliser pour les bases de données topographiques les systèmes de coordonnées décrits au § 2 de l'Annexe 1;
- 2 de déterminer l'espacement horizontal des valeurs dans une base de données topographiques conformément au § 5 de l'Annexe 1;
- 3 de faire apparaître clairement dans les bases de données topographiques la surface des mers et des lacs, avec leur altitude;
- 4 d'indiquer dans les bases de données topographiques la couverture de terrain, artificielle ou naturelle, avec des détails concernant le type et la hauteur de cette couverture;
- 5 de tenir compte des informations supplémentaires décrites dans l'Annexe 1 pour établir une base de données topographiques.

ANNEXE 1

1 Introduction

Les bases de données topographiques élaborées pour la prévision de la propagation doivent contenir des données liées au type de prévision. Pour des fréquences supérieures à 30 MHz environ, il est nécessaire de disposer des informations sur l'altitude et la couverture de terrain. En ce qui concerne les prévisions détaillées aux fréquences supérieures à 1 000 MHz environ, plus particulièrement dans les zones urbaines, il est nécessaire de connaître, outre l'altitude du terrain, l'emplacement, la taille et l'orientation des différents bâtiments.

Des modèles de prévision de plus en plus perfectionnés devraient permettre une prévision plus précise de la propagation mais, en contrepartie, ces modèles exigeront des informations supplémentaires et de ce fait une réduction de l'espacement horizontal des échantillons de données.

La présente Annexe vise à fournir des directives sur le type de données que les bases de données topographiques devraient inclure et sur les valeurs qui conviendraient pour l'espacement horizontal des échantillons de données.

Il est à noter que l'on peut s'attendre à l'apparition d'une gamme très étendue d'utilisations des bases de données topographiques ainsi qu'un très grand nombre de données relatives à la couverture de terrain. Dans une zone géographique quelconque prise individuellement, tous les types de couverture ne seront vraisemblablement pas rencontrés, ce qui a des répercussions importantes sur la mémorisation des données. On pourrait concevoir un ensemble

universel de données sur la couverture de terrain, mais de nombreuses catégories n'auraient aucun fondement dans la majorité des applications spécifiques de bases de données topographiques. Étant donné qu'une telle exhaustivité mobiliserait nécessairement une capacité de stockage superflue, le choix d'une série de catégories susceptibles d'être utilisées de la même manière dans toutes les applications ne semble pas être judicieux actuellement. Néanmoins, on peut donner des directives concernant les catégories qui ont été jugées appropriées et celles qui méritent vraisemblablement un complément d'étude.

Pour les raisons qui viennent d'être exposées, aucun format de stockage universel ne peut être proposé. Toutefois, il semble opportun de choisir des logiciels *ad hoc* pour assurer l'interface entre les programmes de prévision de la propagation et la base de données. Cela permettra d'actualiser le contenu et la structure de la base de données et, moyennant une transformation appropriée du logiciel d'accès, de ne pas modifier les programmes de prévision de la propagation.

Pour assurer correctement l'échange de données topographiques, par exemple entre administrations ou entre fournisseurs et utilisateurs, il est essentiel de joindre à la base de données le logiciel d'accès qui convient ou de donner toutes les informations nécessaires sur le contenu et le mode de stockage de cette base de données.

2 Systèmes de coordonnées

Pour les données topographiques, on a le choix entre plusieurs systèmes de coordonnées. Ces systèmes entrent généralement dans l'une des deux catégories principales suivantes:

- système de coordonnées angulaires, il s'agit en principe de la latitude par rapport à l'équateur et de la longitude par rapport à un méridien de référence, généralement celui de Greenwich;
- système de coordonnées rectangulaires appliquées à une zone particulière de la surface de la Terre conformément à une projection mathématique définie.

Les principales caractéristiques de ces deux systèmes peuvent se résumer de la manière suivante:

- les coordonnées de latitude et de longitude permettent une couverture mondiale sans discontinuité, mais la relation entre les valeurs des coordonnées et les distances au sol est non linéaire. En particulier, le facteur d'échelle entre la longitude et la distance au sol varie en fonction de la latitude;
- les projections orthogonales conduisent approximativement à un facteur d'échelle fixe et à une relation linéaire entre les coordonnées et les distances au sol sur une zone géographique définie, mais il faut redéfinir une nouvelle projection orthogonale pour chaque nouvelle zone afin d'éviter d'importantes distorsions. De nombreux services cartographiques nationaux adoptent une projection orthogonale pour leurs cartes sur papier, c'est pourquoi les données topographiques les plus détaillées pour une zone donnée sont souvent associées à des points espacés régulièrement sur la projection locale.

De nombreux systèmes de cartographie nationaux sont basés sur la projection transverse de Mercator. Le système de projection universelle transverse de Mercator (UTM) est un ensemble de telles projections basé sur des définitions uniformes pour différentes longitudes, les routes vers le nord étant repérées par rapport à l'équateur. On obtient ainsi un degré utile de normalisation. Dans certains cas, on préfère les projections où la précision à une latitude et à une longitude données est optimisée, auquel cas on choisit généralement des valeurs individuelles pour l'ellipticité terrestre afin de réduire les erreurs au minimum. Il existe également un certain nombre de projections non transverses de Mercator.

Pour choisir le système de coordonnées le mieux adapté, plusieurs facteurs peuvent entrer en jeu, notamment:

- lorsqu'on veut une très grande précision, il vaut mieux conserver le système de coordonnées d'origine, car la conversion dans un système différent se traduira généralement par une perte de précision;
- lors de l'extraction de profils de trajets courts, les données associées à une projection orthogonale permettent une simplification intéressante, étant donnée qu'une droite dans ce système de coordonnées donnera approximativement une droite sur le sol. L'écart par rapport à un trajet réel sur le grand cercle dépendra du système de projection ainsi que de la longueur et de l'orientation du trajet. En règle générale, une droite dans une projection orthogonale est suffisamment précise pour les études de propagation jusqu'à une distance d'environ 100 km. Toutefois, les écarts réels varieront en fonction de la projection utilisée et auront tendance à croître pour des trajets orientés ouest-est et situés à des latitudes plus élevées. Les utilisateurs doivent évaluer les erreurs dans le cas le plus défavorable lorsqu'ils tracent des profils de trajet sous forme de droites dans une projection orthogonale;
- les coordonnées angulaires (latitude, longitude) sont intéressantes lorsqu'il s'agit d'assurer une couverture continue sur des zones étendues. Alors que la géométrie du grand cercle sert à éviter une non-linéarité excessive, le recours aux coordonnées de latitude et de longitude permet d'éviter les nombreuses conversions qui sont nécessaires pour effectuer une projection orthogonale.

Compte tenu des facteurs ci-dessus, il est impossible de recommander un seul système de coordonnées pour tous les cas. Pour la coordination internationale, il est recommandé d'utiliser le système de coordonnées angulaires (latitude, longitude) car ce système permet de couvrir toute la surface de la Terre sans discontinuité. Dans les cas où une projection orthogonale est nécessaire pour des questions pratiques, il est préférable d'utiliser les coordonnées UTM pour des raisons d'uniformité.

Le Tableau 1 résume ce qui précède.

TABLEAU 1
Systèmes de coordonnées

Paramètre	Latitude-longitude	UTM	Autre
Applicabilité	Terre entière	Une grande partie de la Terre	Généralement locale
Forme d'une maille	Trapézoïde curviligne	Le carré est une bonne approximation	Le carré est généralement une bonne approximation
Variation du facteur d'échelle	Varie en fonction de la latitude	Un facteur constant est une bonne approximation	Un facteur constant est généralement une bonne approximation
Frontières	Aucune	Fonction de la longitude	Variable

3 Donnée géodésique

Une donnée géodésique est un ensemble de valeurs de référence sur lequel un système de coordonnées doit être basé. La donnée WGS 84, qui est basée sur le géoïde GRS 80, est recommandée pour la coordination internationale.

4 Compatibilité des bases de données

Lorsque des données topographiques ou cartographiques provenant de différentes sources sont combinées, il faut veiller à leur compatibilité. En général, des décalages se produiront sauf si toutes les données sont associées à la même donnée géodésique et au même système de coordonnées.

5 Espacement horizontal dans une base de données de type macroscopique

La valeur de l'espacement horizontal entre points de données, qui doit être utilisée dans une base de données topographiques, dépend de la nature de l'utilisation future des données. On ne peut recommander une valeur particulière. Dans la pratique, les espacements horizontaux compris entre 20 m et 1 km ou l'équivalent en secondes d'arc sont largement répandus. Différents modèles de prévision de la propagation ont non seulement des spécifications distinctes pour la résolution horizontale, mais également une sensibilité différente aux changements de résolution horizontale. Une plus grande résolution horizontale avec une méthode de prévision de la propagation donnée ne conduit pas toujours à une meilleure précision des prévisions.

6 Précision des données d'altitude du terrain

La précision des modèles de prévision de la propagation peut dépendre fortement de la précision des données d'altitude du terrain figurant dans une base de données topographiques. La précision sur les altitudes de terrain s'exprime généralement sous forme d'une erreur quadratique moyenne. La résolution horizontale, la précision verticale et la méthode de prévision de la propagation utilisée auront toutes une influence sur le résultat calculé. En général, plus les méthodes déterministes de prévision de la propagation sont détaillées, meilleures doivent être la résolution et la précision des données topographiques, mais les détails varieront selon les cas. Une erreur quadratique moyenne de 15 m pour l'altitude du terrain s'avère acceptable dans de nombreux cas.

7 Principes généraux régissant le stockage des données relatives aux altitudes de terrain

La plupart des bases de données topographiques actuellement utilisées pour la prévision de la propagation et la planification radio utilisent des tableaux bidimensionnels de données régulièrement espacées dans le système de coordonnées choisi, données qu'on désigne par «données maillées». L'avantage est le suivant: il n'est nécessaire de fournir les coordonnées horizontales que des points de référence, la plupart des données se présentant sous la forme de tableaux auto-indexés comportant les valeurs d'altitude. Pour les projections orthogonales, l'espacement horizontal des données sera généralement le même dans toute la base de données. Pour les coordonnées de latitude et de longitude, l'espacement relatif à la longitude est parfois augmenté par pas à mesure que la latitude augmente afin de conserver une valeur approximativement constante pour le facteur d'échelle relatif à la longitude.

Le stockage des données maillées est recommandé pour les bases de données topographiques utilisées pour les études de propagation car ce type de stockage est simple et largement utilisé.

Les informations fournies ci-après sont des indications générales concernant d'autres méthodes de stockage de données topographiques qui peuvent être utiles.

L'utilisation d'autres méthodes de stockage des données topographiques suscite un intérêt croissant car on cherche à réduire l'espace de stockage et dans certains cas à fournir une représentation plus efficace de l'altitude du terrain.

On peut utiliser les méthodes classiques pour la compression des données topographiques, même si les méthodes spécialisées permettent en général d'obtenir des taux de compression plus élevés, mais ces méthodes ne sont pas toutes sans erreur. Comme exemple de compression des données maillées, on peut citer:

- la transformation discrète en cosinus (DCT);
- diverses formes du codage de Huffman, qui peut être sans erreur et qui est particulièrement efficace si la différence entre les altitudes effectives et les altitudes prévues à partir de points voisins est codé selon celui de Huffman pour le stockage;
- l'utilisation d'un espacement variable entre les points en fonction de l'irrégularité du terrain, ces points pouvant être stockés efficacement sous forme d'une liste de noeuds de quadruplets avec des liens.

Lorsque les données d'altitude du terrain ont une résolution horizontale suffisante en des points irrégulièrement répartis, ce qui suppose normalement un système d'observation sélectionnant des caractéristiques comme les lignes de crête et de vallée, le réseau irrégulier triangulé (TIN) présente un certain nombre d'avantages. La méthode est basée sur le stockage des coordonnées horizontales et de l'altitude de chaque point. Il est également nécessaire de définir une triangulation reliant tous les points afin de représenter le terrain sous forme de facettes triangulaires contiguës. La triangulation peut faire l'objet d'un stockage explicite ou implicite en vue d'une reconstitution pendant l'extraction de données.

Il convient de noter que l'avantage du TIN tient à ce que les points sont liés aux caractéristiques du terrain, qui seront généralement irrégulières. Deux problèmes se posent:

- la cartographie traditionnelle ne fournit pas toujours de tels points observés de façon précise avec une résolution adéquate;
- un système TIN fondé sur des données maillées doit utiliser un système identifiant les points les plus significatifs sur le plan topographique. Il convient de noter également que des triangulations ambiguës peuvent exister pour des points espacés régulièrement.

8 Représentation des données d'altitude du terrain

Les données maillées peuvent représenter divers aspects de l'altitude du terrain:

- a) l'altitude la plus élevée, la plus basse, la médiane ou une autre altitude caractéristique d'une zone de terrain de forme carrée appelée maille dont le côté est égal à l'espacement horizontal des données;
- b) l'altitude au niveau du seul point représenté sans fournir d'informations sur les altitudes d'autres points.

Le choix de la représentation des altitudes influe à la fois sur la façon dont les profils d'altitude de terrain doivent être extraits d'une base de données et sur la manière dont les informations d'altitude vont interagir avec les méthodes de prévision de la propagation. Il est impossible de formuler une recommandation générale en la matière. Les méthodes d'extraction de profil sont traitées au § 9.

9 Extraction de profil

Lors du tracé d'un profil entre deux emplacements arbitraires, peu ou aucun des points de données figurant dans une base de données maillées coïncideront exactement avec le profil. Il existe plusieurs méthodes permettant d'extraire les données sur l'altitude du terrain dans ces cas. Selon les circonstances, les méthodes suivantes sont recommandées:

- lorsque les données d'altitude sont d'une certaine manière représentatives d'une zone de terrain carrée, comme décrit au § 8a), les données associées à chaque maille par lequel passe le profil doivent être intégrées au profil. Chaque point du profil peut être placé sur la perpendiculaire à la ligne de profil passant par le point de données correspondant, même si de ce fait les points de profil ne seront pas en général régulièrement espacés. Si la méthode de prévision de la propagation exige des points régulièrement espacés, on pourra déplacer des points du profil pour que ceux-ci soient régulièrement espacés;
- lorsque les données d'altitude ne représentent l'altitude qu'au point exact, comme décrit au § 8b), il sera préférable, pour extraire les données, de commencer par déterminer des points de profil régulièrement espacés et obtenir l'altitude de terrain pour chacun de ces points par interpolation bilinéaire à partir des valeurs des données maillées immédiatement voisines.

Différents principes s'appliquent à l'extraction d'un profil d'une base de données de type TIN. Le profil correspond exactement à une ligne continue suivant les facettes triangulaires contiguës utilisées pour représenter le terrain à l'aide du TIN. Dans la pratique, il est possible de découper cette surface en spécifiant des points de profil régulièrement espacés.

10 Bases de données topographiques en zone urbaine

Des considérations spéciales s'appliquent à la prévision de la propagation en zone urbaine, notamment aux fréquences supérieures à 1 000 MHz environ, lorsqu'il faut tenir compte de la réflexion sur la surface des bâtiments. En pareil cas, différentes informations sont nécessaires: hauteur et forme des bâtiments et, éventuellement, emplacement et largeur des rues, même si, en l'occurrence, on peut parfois assimiler cette information à une zone non couverte par des bâtiments.

Deux approches différentes ont fait leurs preuves dans les cas considérés. La première est une extension du concept général présenté brièvement au § 5, moyennant un espacement horizontal de 5 à 10 m et une assimilation de la hauteur des bâtiments aux données sur la couverture de terrain (voir la Note 1). Dans ce cas, on peut seulement déterminer approximativement l'orientation moyenne des bâtiments. La seconde approche consiste à élaborer une base de données vectorielles contenant les coordonnées, en trois dimensions, des points d'angle qui définissent la forme de chaque bâtiment (voir également le § 12). Dans les deux cas, les hauteurs retenues peuvent être des valeurs absolues ou des valeurs relatives par rapport à l'altitude moyenne du sol sur le site. Aucune des deux approches n'a encore permis d'acquérir une expérience suffisante conduisant à en préférer une pour les calculs de propagation.

NOTE 1 – Les bâtiments de forme irrégulière peuvent être assimilés à une combinaison de corps de bâtiments de hauteurs différentes.

11 Informations macroscopiques sur la couverture de terrain

Comme indiqué précédemment, la gamme des catégories envisageables pour la couverture de terrain est très étendue, et l'ensemble des catégories ne sera vraisemblablement pas applicable aux différentes zones géographiques. Le Tableau 2 donne une série de catégories générales utilisées par diverses organisations. Toutefois, on a souvent jugé souhaitable de subdiviser certaines catégories pour affiner la description de la couverture de terrain considérée.

12 Informations spécifiques sur la couverture de terrain

Les considérations exposées au § 10 peuvent être appliquées à toute situation spécifique nécessitant une prévision détaillée de la propagation. Le Tableau 3 donne certains exemples de catégories de couverture de terrain et les critères susceptibles d'être retenus pour en définir les caractéristiques; il s'agit en fait d'une extension de la première approche décrite au § 10. On peut aussi utiliser la méthode vectorielle qui consiste à retenir les coordonnées des extrémités des objets considérés.

TABLEAU 2

**Catégories et paramètres à retenir pour l'élaboration d'une base
de données macroscopiques sur la couverture de terrain**

Couverture de terrain	Paramètres
Zone urbaine dense (Centre ville)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des bâtiments - Hauteur maximale des bâtiments - Concentration en bâtiments⁽¹⁾
Zone urbaine (Zones commerciales, bureaux, magasins)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des bâtiments - Hauteur maximale des bâtiments - Concentration en bâtiments⁽¹⁾
Zone industrielle (Usines et entrepôts)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des bâtiments - Hauteur maximale des bâtiments - Concentration en bâtiments⁽¹⁾
Zone suburbaine dense Rangées de maisons de plus de 3 étages ou autres bâtiments d'habitation de grande hauteur)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des bâtiments - Hauteur maximale des bâtiments - Concentration en bâtiments⁽¹⁾
Zone suburbaine (Maisons individuelles et mitoyennes, lotissements)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des bâtiments - Hauteur maximale des bâtiments - Concentration en bâtiments⁽¹⁾
Centre de village (Généralement sous la forme d'un espace vert et de bâtiments à faible densité)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des bâtiments - Hauteur maximale des bâtiments - Concentration en bâtiments⁽¹⁾
Arbres à feuilles caduques	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des arbres - Hauteur maximale des arbres - Concentration en arbres⁽²⁾
Conifères	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des arbres - Hauteur maximale des arbres - Concentration en arbres⁽²⁾
Couverture d'arbres mixte	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des arbres - Hauteur maximale des arbres - Concentration en arbres⁽²⁾
Vergers	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des arbres - Hauteur maximale des arbres - Concentration en arbres⁽²⁾
Couverture dispersée (Zones sans caractéristiques particulières: par exemple, champs, parcs, dunes de sable, etc.)	
Marais	
Marécages	
Étendues marines	
Étendues d'eau douce	

(1) La concentration en bâtiments est définie comme la proportion de la zone considérée qui est recouverte par des bâtiments.

(2) La concentration en arbres est définie comme le nombre d'arbres pour 10 000 m².

TABLEAU 3

**Catégories et paramètres supplémentaires pour l'élaboration
des bases de données relatives aux structures spéciales**

Couvertures de terrain	Paramètres
Rangée de bâtiments (Rangée isolée de bâtiments bien définis: par exemple, une rangée de maisons attenantes le long d'une route)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des bâtiments - Coordonnées aux extrémités de la rangée
Bâtiment isolé (Bâtiment isolé sur une place)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur des bâtiments - Coordonnées au centre du bâtiment - Surface couverte par le bâtiment
Alignement d'arbres (Par exemple, le long d'une route)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur moyenne des arbres - Coordonnées aux extrémités de l'alignement
Pylônes (Pylônes électriques, éoliennes, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur de la structure - Coordonnées au centre de la structure

13 Données relatives à la population

Pour beaucoup d'applications, il est nécessaire de définir la «couverture de population» par rapport à un service de radiocommunication. On peut obtenir ce résultat très facilement en élaborant une base de données sur la population et, à cet égard, il a été jugé utile d'utiliser le même espacement horizontal que pour la couverture et l'altitude du terrain.