

L'environnement de propagation des ondes radioélectriques

Hervé Sizun

Le présent document contient des informations qui sont la propriété de France Télécom. L'acceptation de ce document par son destinataire implique, de la part de ce dernier, la reconnaissance du caractère confidentiel de son contenu et l'engagement de n'en faire aucune reproduction, aucune transmission à des tiers, aucune divulgation et aucune utilisation commerciale sans l'accord préalable écrit de France Télécom R&D

D1 - 24/03/2004

L'atmosphère terrestre



▶ L'atmosphère terrestre

- Enveloppe gazeuse qui entoure la Terre et qui participe avec elle à ses différents mouvements
- Série de couches concentriques délimitant plusieurs zones

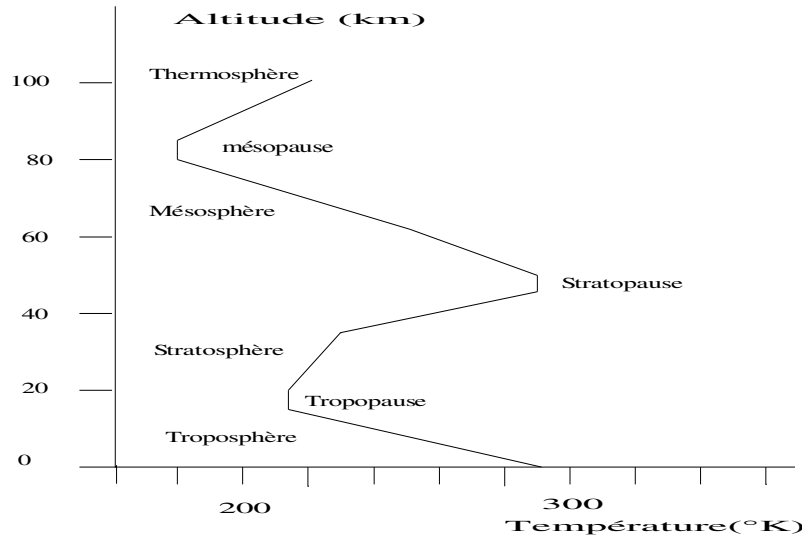
▶ Homosphère (sol –80/Km constitué essentiellement d'azote et d'oxygène en proportion constante)

- La troposphère
- La stratosphère
- La mésosphère

▶ Hétérosphère (au dessus où prédominent les gaz légers: azote, hydrogène, hélium)

- La thermosphère
- L'exosphère
- L'ionosphère

Homosphère



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D3 - 24/03/2004

La troposphère



- ▶ **C'est la couche atmosphérique la plus basse**
 - 0 – 8 km (pôle)
 - 0-18 km (équateur)
- ▶ **Caractérisée par une décroissance de T fonction de h**
 - La limite supérieure est la tropopause où la température varie de 190 K à l'équateur à 220 K au pôle
- ▶ **Siège des phénomènes météorologiques**
 - Nuages
 - Hydrométéores (pluie, neige, grêle, ...)
- ▶ **Elle se subdivise**
 - Couche turbulente (0-1500m) ; davantage au dessus des reliefs
 - L'atmosphère libre

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D4 - 24/03/2004

La stratosphère



- ▶ **Située au-dessus de la tropopause**
 - Augmentation de la température
 - Lentement jusqu'à 20 km
 - Plus rapidement ensuite jusqu'à 290K (stratopause)
- ▶ **Absorption d'une partie du rayonnement ultra violet émis par le soleil transformant l'oxygène en ozone**
- ▶ **Filtre régulateur permettant la vie sur notre planète**

La mésosphère



- ▶ **Située au-dessus de la stratopause**
- ▶ **Caractérisée par une diminution de la température à l'émission infra rouge par le dioxyde de carbone**
 - 150 à 210K à la mésopause (80-90 km d'altitude)

La thermosphère



- ▶ **Située au-dessus de la mésopause**
- ▶ **Caractérisée par un accroissement de la température jusqu'à la thermopause (1000 km d'altitude)**
 - 500 K la nuit et en faible période d'activité solaire
 - 1750 K en forte période d'activité solaire

L'exosphère



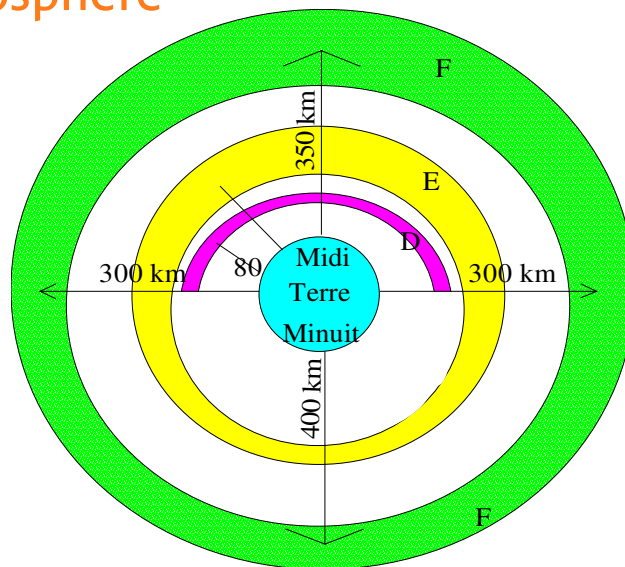
- ▶ **Atmosphère au-delà de 1000 km d'altitude**
 - S'étend jusqu'à plusieurs rayons terrestres
 - Échappement des molécules terrestres vers le milieu interplanétaire (insuffisance de l'attraction de la pesanteur)

L'ionosphère



- ▶ Portion de l'atmosphère terrestre où les charges (+, -) existent en quantité suffisante pour influencer la trajectoires des ondes radioélectriques
- ▶ Les charges résultent d'une ionisation des constituants de l'atmosphère par les rayons solaires (effet photo-électriques)
- ▶ La région D (75-95 km)
- ▶ La région E (95-150 km)
- ▶ La région F (au-dessus de 150 km)

L'ionosphère



La composition de l'atmosphère



- ▶ **Les constituants majoritaires (% constant)**
 - N₂ (78,095%), O₂ (20,93%), Argon (0,93%), Dioxyde de carbone (CO₂) (0,03%) et autres (Ne, He, Kr, CH₄, H₂, ...)
- ▶ **Les constituants minoritaires (% variable)**
 - Vapeur d'eau,
 - Eau (neige, glace, nuages, pluie, brouillard)
- ▶ **Les aérosols**
 - Particules extrêmement fines en suspension dans l'atmosphère
 - Taille comprise entre 10⁻² et 100 microns
 - Liquide et solide (poussières d'origine volcanique ou autre, cristaux de sel)

Les paramètres atmosphériques



- ▶ **La pression (950 – 1050 hPa ou mb)**
- ▶ **La température (°C ou K)**
 - $T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15$
- ▶ **L'Humidité (H)**
 - Quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air en % par rapport à la quantité maximale que cet air peut contenir à la même t
 - Si H=100% on dit que l'air est saturée. Il a atteint son point de rosée. La vapeur d'eau se condense en fines gouttelettes (nuages, brouillard)

Les phénomènes météorologiques



- ▶ **L'insolation** (durée d'ensoleillement au cours de la journée)
- ▶ **Le rayonnement** (énergie reçue par le soleil)
- ▶ **L'évaporation**
 - Présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère
 - Évaporation physique au-dessus des océans, mers, lacs, cours d'eau, sols humides
 - Evapo-transpiration physiologique du couvert végétal
 - Prélèvement d'énergie : diminution de la température (refroidissement)
- ▶ **La condensation**
 - Passage de l'état gazeux à l'état solide
 - Enrichissement en vapeur d'eau (dépassement du seuil de saturation par évaporation)
 - Refroidissement d'où abaissement du seuil de saturation
 - Libéralisation d'énergie : élévation de température

Les phénomènes météorologiques



- ▶ **La solidification, la fusion**
- ▶ **La surfusion**
 - Gouttelettes liquides à des températures inférieures à 0°
- ▶ **La sublimation**
 - Cristallisation de la vapeur d'eau sans transition par l'état liquide (gelée blanche)
- ▶ **Le vent**
 - Mouvement horizontal de l'air
- ▶ **La turbulence**
 - Tourbillons de dimensions et d'axes variables
 - Turbulence en air clair : cisaillement de vent
 - Turbulence de frottement au voisinage du sol
 - Turbulence convective : mvt ascendant
 - Turbulence à proximité des versants
 - Turbulence orographique fct de la forme du relief

Les phénomènes météorologiques



- ▶ **Advection :**
 - écoulement horizontal de masses d'air ayant des propriétés différentes
- ▶ **Subsidence**
 - Mouvement vertical descendant des masses d'air
- ▶ **Nébulosité (fraction du ciel couverte par les nuages)**
- ▶ **Météores**
 - Hydrométéores (pluie, bruine, neige, grêle, grésil, nuages, brouillard, ...)
 - Lithométéores (particules en suspension)
 - Photométéores (phénomènes optiques de l'atmosphère résultant de modifications de la lumière du soleil : arc en ciel, mirage, ...)
 - Electrométéores (phénomènes résultant de l'interaction des charges électriques avec l'atmosphère (orage, éclair, aurore polaire))
- ▶ **... etc.**

Les Bases de données géographiques



- ▶ **Permettent de décrire les environnements de propagation plus particulièrement en radio mobile**
 - La topographie (relief),
 - L'occupation du sol (bois, route, bâtiments),
 - Les axes de rues,
 - L'intérieur des bâtiments.
- ▶ **Le codage est de trois types :**
 - Le mode pointé : l'information est fournie dans un maillage régulier ou chaque information élémentaire est représentative d'un point (X,Y) du maillage (topographie),
 - Le mode « surfacique » : l'information est fournie dans un maillage régulier mais chaque valeur est représentative non plus d'un point mais d'une maille complète (% d'occupation du sol),
 - Le mode vectoriel : l'information est donnée sous forme de vecteurs (bâtiments).

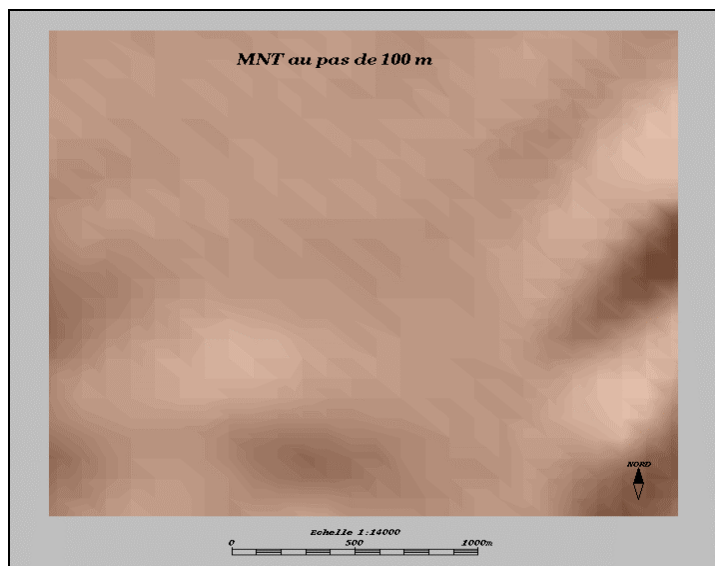
Le modèle numérique de Terrain (MNT) &

- ▶ Il décrit les altitudes au sol (résolution : 100 et 25 m)
- ▶ Extraites des cartes de courbes de niveau de l'IGN
- ▶ Une grille au pas de 100 m (25 m) est appliquée sur ces courbes de niveau et l'altitude de chaque point est interpolée à partir des courbes de niveau
- ▶ Il s'agit d'un pointé et l'altitude fournie n'est pas la moyenne d'un échantillon d'altitude observées dans la maille
- ▶ La précision sur l'altitude du point calculé dépend de l'équidistance des courbes de niveau, non uniforme sur tout le territoire mais varie dans la plage de 4 valeurs : 5, 10, 20 et 40 m
- ▶ L'écart-type de l'erreur en altitude est :
 - 3m sur les zones où l'équidistance est de 5 ou 10m
 - 6 à 15 m sur les zones où l'équidistance est de 20 ou 40 m

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D17 - 24/03/2004

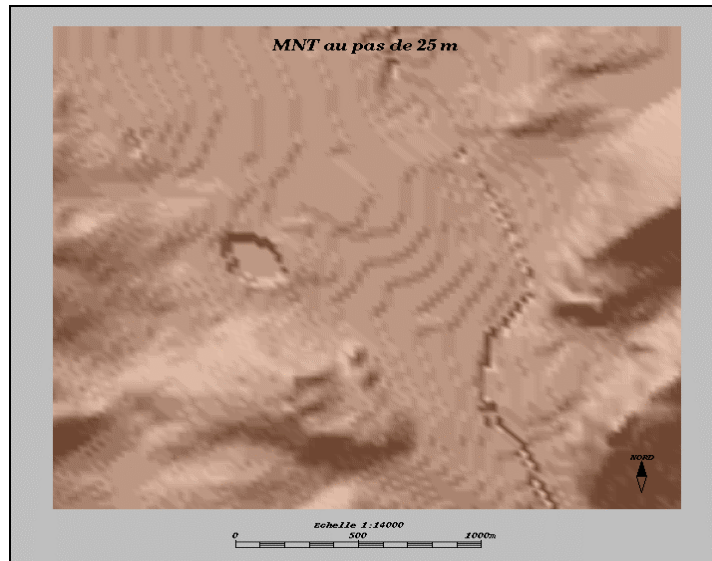
Exemple de MNT sur BELFORT (pas de 100m) &



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D18 - 24/03/2004

Exemple de MNT sur BELFORT (pas de 25 m)



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D19 - 24/03/2004

Le modèle numérique de Sursol (MNS)

1- Données délocalisées; 2 - Données localisées

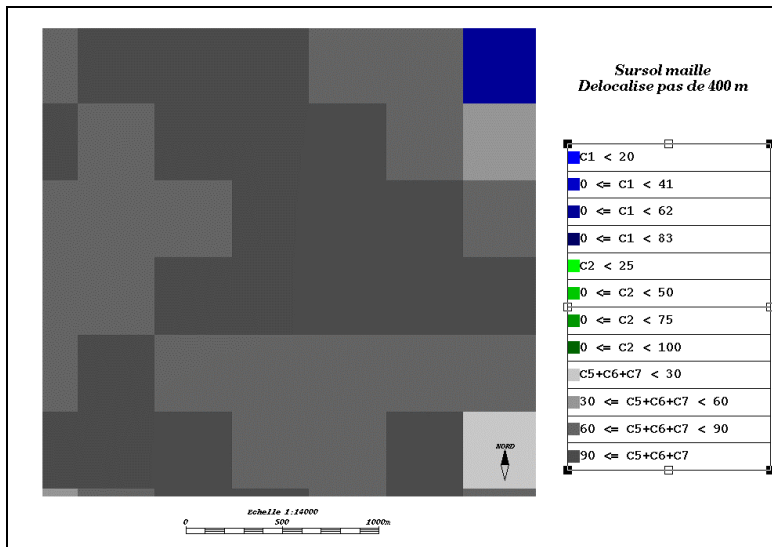
1 - Données délocalisées

- Description statistique par maille de 400 m du sursol observé à partir des photos satellites LANDSAT
- Classification en 7 thèmes
 - C1: % d'eau,
 - C2: % de forêt,
 - C3: % d'autres thèmes,
 - C4: % de surfaces minérales nues,
 - C5: % d'habitat diffus
 - C6: % d'habitat mixte
 - C7: % d'habitat dense

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D20 - 24/03/2004

Exemple de sursol délocalisé 400m sur BELFORT



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D21 - 24/03/2004

Le modèle numérique de Sursol (MNS)



1-Données délocalisées; 2 - Données localisées

2 - Données localisées

- Disponibles sur les grandes villes elles résultent du traitement par photogrammétrie de photographies aériennes
- La digitalisation est faite de manière vectorielle sur :
 - Les contours de bâtiments
 - Les axes de rues
- Les objets numérisés sont traités en effectuant un recalage des points d'appui sur la base de données altimétriques
- L'écart type des erreurs sont:
 - 3 à 5 m pour l'erreur en planimétrie
 - 2 à 3 m pour l'erreur en altimétrie
- On distingue:
 - Les contours de bâtiments
 - Les axes
 - Le pointé 25m
 - Le sursol localisé 100m

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D22 - 24/03/2004

Les contours de bâtiments

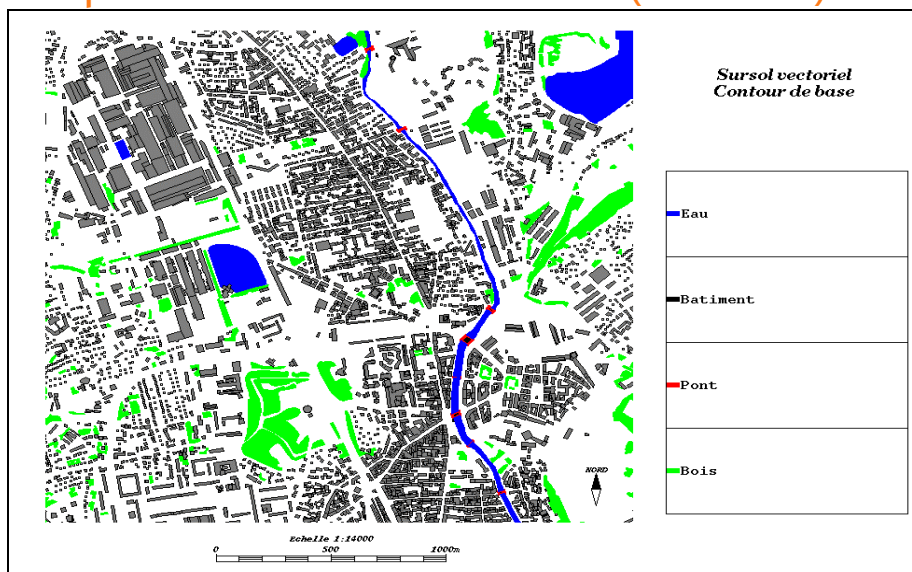


- ▶ **Le pointé effectué lors de la restitution se fait sur le faîtage des toits et des espaces verts**
 - ▶ Non prise en compte des cheminées, cage d'ascenseur, des arbres isolés, les allées d'arbres,
 - ▶ Les cours intérieures sont considérées comme étant au sol,
 - ▶ Les bois sont considérés de la même façon que les bâtiments,
 - ▶ Les ponts sont traités comme des bâtiments (hauteur / niveau de l'eau)
 - ▶ Les surfaces d'eau sont considérés comme du MNT
- ▶ **Représentation par un contour:**
 - ▶ Le bâti (hors pavillons de surface inférieure à 150 m², le bois, les dalles piétonnes, les ponts, les surfaces d'eau)
- ▶ **Représentation par un point**
 - ▶ Les pavillons de 40 à 150 m²

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D23 - 24/03/2004

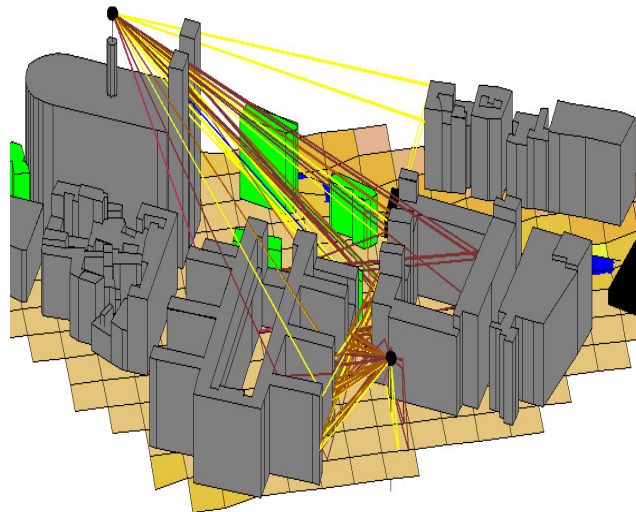
Exemple de contours de bâtiments (BELFORT)



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D24 - 24/03/2004

Vue 3D (autre site)



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D25 - 24/03/2004

Les axes de rues



- ▶ **Numérisées à partir des mêmes photographies aériennes que celles décrivant les contours de bâti**
- ▶ **Règles de sélection appliquées:**
 - Zone rurale
 - Autoroutes,
 - Routes nationales,
 - Routes départementales
 - Voies ferrées
 - Zone urbaine
 - Les autres voies de circulation (rues)
- ▶ **Précision**
 - 3 à 5 m pour la planimétrie,
 - 2 à 3 m pour l'altimétrie

France Télécom R&D

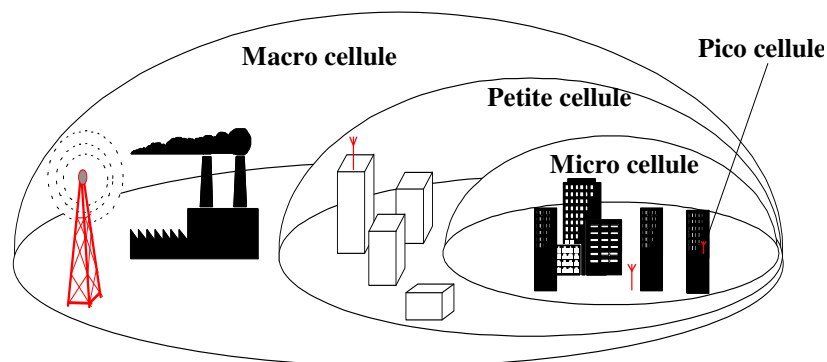
La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D26 - 24/03/2004

Le pointé 25m



- ▶ **Résulte du traitement des données obtenues par restitution des contours de bâtiments et de bois**
- ▶ **A chaque point on repère :**
 - L'altitude au sol du contour (du point)
 - Le type de sursol (sol nu, bâti, pont, végétation, eau)
 - La hauteur du sursol
- ▶ **Les différents thèmes :**
 - C1: altitude au sol (m),
 - C2: hauteur du bâti (m),
 - C3: hauteur du bois (m),
 - C4: % d'eau (0 ou 100 %),
 - C5: % de sol nu (0 ou 100 %).

Les différents types de cellules



La picocellule



- ▶ Rayon : quelques dizaines de mètres
- ▶ Communications à l'intérieur d'un bâtiment dans lequel sont placées les antennes des stations de bases
- ▶ La durée maximale de la Réponse Impulsionnelle (RI) est de 1 microseconde

La microcellule



- ▶ Rayon : quelques centaines de mètres
- ▶ Les antennes sont situées au-dessous des niveaux des toits
 - Propagation guidée par les rues
- ▶ La durée maximale de la Réponse Impulsionnelle (RI) est de 2 microsecondes

La petite cellule



- ▶ Rayon : quelques kilomètres
- ▶ Les antennes sont situées au-dessus des niveaux des toits
- ▶ La durée maximale de la Réponse Impulsionnelle (RI) est de 10 microsecondes

La macrocellule



- ▶ Rayon : quelques dizaines de kilomètres
- ▶ Les antennes sont situées sur des points hauts. Le milieu environnant est en général rural ou montagneux
- ▶ La durée maximale de la Réponse Impulsionnelle (RI) est plus importante (jusqu'à 30 microsecondes)

La mégacellule



▶ Les antennes sont situées sur des satellites

- LEO (500-2000km d'altitude)
 - IRIDIUM (780 km d'altitude) : couverture de la Terre par 66 satellites
- MEO (5000-12000 km d'altitude)
 - ODYSSEY (12370 km d'altitude) : couverture de la Terre par 12 satellites
- GEO (36000 km d'altitude)

▶ Les principaux éléments à prendre en compte pour l'étude du canal de propagation sont:

- Les arbres
- Les bâtiments
- Le terrain (la topographie)