

# Les liaisons mobiles

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 - 23/04/2004

## Introduction



- ▶ **Les liaisons radiomobiles ont introduit, par rapport aux liaisons fixes (faisceaux hertziens, liaisons Terre-satellite)**
  - Le concept de la non visibilité (Émetteur-Récepteur)
  - Le déplacement du mobile : Création de 2 fonctions supplémentaires non usuelles dans un réseau fixe
    - L'itinérante : gestion de la délocalisation de l'utilisateur
    - Le hand-over : le transfert automatique inter cellule : changement de BTS au cours d'une communication quand le mobile se déplace.
- ▶ **Il n'est pas toujours possible de placer la BTS sur des points hauts tels que tour, colline, montagne, ... pour assurer la couverture dans différents environnements (urbain, suburbain, rural, intérieur des bâtiments, ...)**

# Introduction



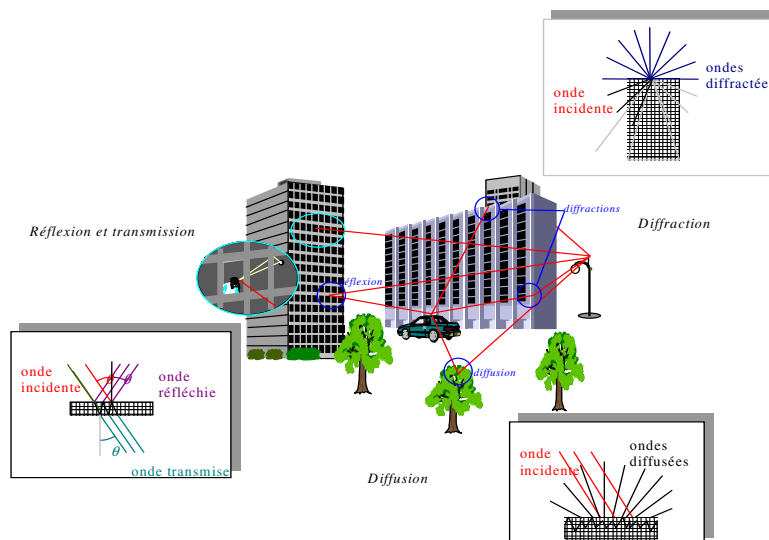
## ▶ Les ondes se propagent

- ▶ en visibilité
- ▶ par réflexions (flancs des montagnes, façades d'immeubles, ...)
- ▶ Par diffraction
  - Sur arêtes horizontales (les toits)
  - Sur arêtes verticales (les coins des bâtiments)
- ▶ Par diffusion sur la végétation
- ▶ Par guidage dans les rues encaissées

## ▶ Illustrations des différents mécanismes

- ▶ Cf. figure

# Les différents mécanismes de propagation



# Introduction



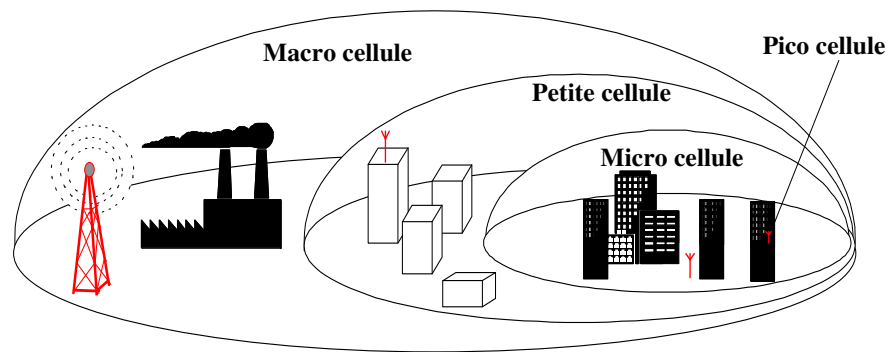
- ▶ **Au niveau du récepteur, réception d'une multitude de trajets élémentaires, caractérisés :**
  - Une atténuation
  - Un retard
  - Un déphasage
- ▶ **Interférences, au niveau du récepteur**
  - Constructives (les signaux arrivent en phase)
  - Destructives (les signaux arrivent en opposition de phase)
- ▶ **Le mobile se déplace au milieu de cette figure d'interférence**
  - Zone lumineuse
  - Zone sombre
- ▶ **Présence d'évanouissements profonds (fading ou variations rapides)**

# Introduction



- ▶ **Du fait de la présence de trajets multiples et du déplacement du mobile le canal de propagation possède 3 propriétés fondamentales:**
  - Affaiblissement
  - Variabilité dans le temps
  - Sélectivité en fréquence
- ▶ **En analogique**
  - La notion d'affaiblissement était suffisante
- ▶ **En communications numériques**
  - Les évanouissements dus à la variabilité et à la sélectivité induisent des dégradations de la qualité de la communication indépendamment de l'affaiblissement.

# Les différents types de cellules



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D7 - 23/04/2004

# Les différents types de modèles



- ▶ L'étude d'un bilan de liaison nécessite la connaissance des différents affaiblissements subis par l'onde entre l'émetteur et le récepteur
- ▶ Différents modèles
  - Théoriques ou déterministes
  - Empiriques ou statistiques
  - Semi-empiriques

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D8 - 23/04/2004

## Les modèles théoriques ou déterministes



- ▶ **S'appuient sur :**
  - les lois fondamentales de la physique avec des approximations adéquates
  - Des modèles d'atmosphère
  - Des modèles de terrains
- ▶ **Se traduisent par des relations mathématiques complexes**
  - Résolution des équations par des méthodes d'éléments ou de différences finies,
  - Utilisation de méthode d'optique physique et d'optique géométrique
- ▶ **Avantages:**
  - Servent de modèles de référence dans certains cas pour juger des approximations introduites par d'autres types de modèles
- ▶ **Inconvénients:**
  - Temps de calcul relativement élevés, souvent incompatibles avec des contraintes opérationnelles plus particulièrement pour l'ingénierie

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D9 - 23/04/2004

## Les modèles théoriques ou déterministes



- ▶ **Les variables utilisées sont en général déterministes**
- ▶ **Rapport de cause à effet entre les phénomènes physiques**
- ▶ **Ces modèles sont ainsi désignés sous le nom de modèle déterministe**
- ▶ **Ils peuvent prendre en compte des variables aléatoires qui sont alors caractérisées par leur distribution**
  - Variable aléatoire: variable dont la variation dépend d'une loi de probabilité

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D10 - 23/04/2004

## Les modèles empiriques ou statistiques

- ▶ **Basés sur l'analyse statistique d'un grand nombre de mesures expérimentales réalisées en fonction de différentes paramètres:**

- ▶ fréquence,
- ▶ distance,
- ▶ La hauteur de l'antenne (station de base, mobile)
- ▶ ...

- ▶ **Le modèle d'OKUMURA-HATA**

- ▶ Basé sur un grand nombre de mesures expérimentales réalisés à l'intérieur et à proximité de la ville de TOKIO pour différentes paramètres : fréquence, distance, ...

- ▶ **L'affaiblissement de propagation est fonction:**

- ▶ Fréquence  $f$  (150 MHz – 1500 MHz)
- ▶ Hauteur de la station de base  $h_b$  (30-200m), du mobile (1-10m)
- ▶ 3 coefficients correctifs liés à l'environnement (urbanisation différente)

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D11 - 23/04/2004

## Les modèles empiriques ou statistiques

$$A_p = 69.55 + 26.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d - a(h_m)$$

avec :

- pour les petites et les villes moyennes

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10} f - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8)$$

- pour les grandes villes et  $f \leq 200$  MHz

$$a(h_m) = 8.29 (\log_{10}(1.54 h_m))^2 - 1.1$$

- pour les grandes villes et  $f \geq 400$  MHz

$$a(h_m) = 3.2 (\log_{10}(11.75 h_m))^2 - 4.97$$

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D12 - 23/04/2004

## Les modèles empiriques ou statistiques

- ▶ Pour les petites villes et villes moyennes, le modèle d'OKUMURA-HATA a été étendu à la bande de fréquence 1500-2000MHz (modèle COST231-HATA) :

$$Ap = 46.3 + 33.9 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d - a(h_m) + C_m$$

où :

$a(h_m)$  est identique à l'expression définie ci-dessus,

$C_m = 0 \text{ dB}$  pour les petites et les villes moyennes ainsi que pour les zones urbaines,

$C_m = 3 \text{ dB}$  pour les grandes villes.

## Les modèles empiriques ou statistiques

### ▶ Avantages:

- Très rapides d'exécution
- Ne nécessitent pas de BdD géographiques
- Robustes car mis au point sur un grand nombre de mesures

### ▶ Inconvénients:

- Inadaptés à courtes distances
- Imprécis pour des analyses ponctuelles présentant une topographie particulière
- Inadaptés aux contextes micro et picocellulaire

## Les modèles semi-empiriques



- ▶ **Combinent une formulation analytique des phénomènes physiques (réflexion, transmission, diffraction, diffusion) et un ajustement statistique par ajustement des variables à l'aide de mesures expérimentales**
- ▶ **Modèle d'affaiblissement en espace libre**
  - Aff :  $32,4 + 20\log f + 20\log d$
- ▶ **Modèle semi-empirique**
  - Aff(semi-empirique) =  $A * 32,4 + B * (20\log f) + C * (20\log d) + D$
- ▶ **Modèle d'HOKUMURA-HATA**

$$Ap = 46.3 + 33.9 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d - a(h_m) + C_m$$

## Les modèles semi-empiriques



- ▶ **Plus robuste que la méthode purement empirique**
  - Elle évite l'inraisemblance des variables indépendantes
- ▶ **Différentes techniques d'optimisation statistique**
  - Régression linéaire (technique la plus classique)
  - Réseaux de neurones
  - Régression non paramétrique par arbre de décision binaire,
  - ...



# Les différents usages des modèles



- ▶ **Conception d'un système radio, d'un interface radio**
  - Optimisation des performances
- ▶ **Déploiement des systèmes sur le terrain**
  - Détermination de la couverture radioélectrique

# Conception d'un système radio



- ▶ **Les modèles de propagation (caractérisant le comportement du canal radioélectrique) sont mis en œuvre dans des logiciels de simulation de la chaîne de transmission**
- ▶ **Ils doivent mettre en évidence et reproduire les caractéristiques pertinentes du canal pour évaluer le système en terme de qualité (taux d'erreurs)**
- ▶ **La Réponse Impulsionnelle avec ses évolutions dans l'espace et le temps constitue la base de ce type de modèle**

# Déploiement d'un système radio



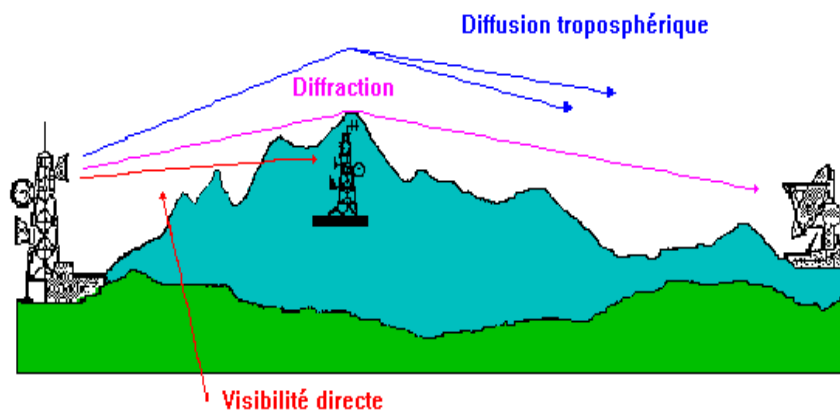
## ► Les modèles sont implantés dans des outils d'ingénierie

- Prédire différentes quantités utiles pour le déploiement
    - Puissance reçue, Champ radioélectrique, ...
  - Étudier la couverture radioélectrique
    - Choix des sites
    - Allocation des fréquences
    - Définition des puissances
    - Définition des gains d'antenne
  - Définition des brouillages
    - Cf. différents mécanismes de brouillage
    - Rapport S/B
    - Rapport S/(B+I),
    - C/I
- C: champ émis par la station de base et reçu par le mobile (champ descendant)  
–I : Somme du champ reçu au niveau du mobile par une station brouilleuse et du bruit de fond

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D19 - 23/04/2004

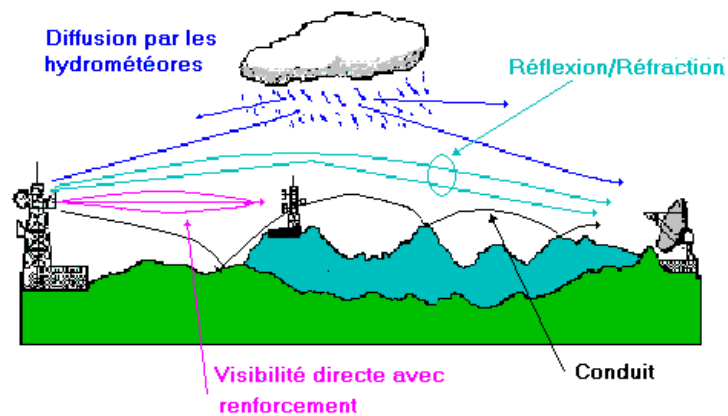
# Mécanismes de brouillage



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D20 - 23/04/2004

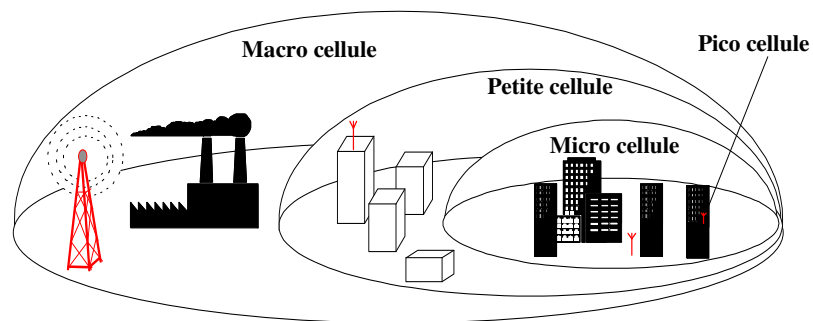
# Mécanismes de brouillage



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D21 - 23/04/2004

# Les différents types de cellules



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D22 - 23/04/2004

## Les modèles macrocellulaires



- ▶ **Modèles semi-empiriques généralement fondés sur l'analyse du profil vertical Emetteur-Récepteur et des obstacles qui s'y trouvent (colline, forêt, ...)**
- ▶ **Ils s'appuient sur des données géographiques maillées de sol et de sursol**
- ▶ **La mise au point par ajustement de variables est opérée à l'aide de mesures expérimentales du fait de la pauvreté des informations géographiques fournies**
  - estimation de l'occupation du sol sur une maille de 100m
  - Simplicité des algorithmes de calcul
- ▶ **2 types de modèles:**
  - Le modèle rural
  - Le modèle montagneux

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D23 - 23/04/2004

## Le modèle rural



- ▶ **Prend uniquement en compte la coupe verticale de terrain entre l'émetteur et le récepteur pour déterminer les affaiblissements et notamment ceux dus à la diffraction par les obstacles (sol et sursol)**
- ▶ **Permet d'estimer une couverture radioélectrique avec une précision de l'ordre de 6 à 7 dB d'écart-type (comparaison entre valeurs prédites et valeurs mesurées)**
- ▶ **Amélioration des performances en milieu urbain par l'utilisation de données géographiques plus précises**
- ▶ **Dégradation du modèle lorsque le vallonement devient important (en milieu montagneux notamment) car les effets des trajets réfléchis deviennent prépondérants.**

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D24 - 23/04/2004

## Le modèle rural: le modèle CAPADOCE



### ▶ Domaine de validité

- Fréquence : 30 MHz-30 GHz
- Environnement : terrain plat, vallonné ou montagneux, milieu rural, urbain

### ▶ Prend en compte:

- BdD géographiques (MNT, MNS, permittivité, perméabilité, indice de réfraction, rugosité, polarisation)
- Différents affaiblissements:
  - Espace libre
  - Réflexion sur Terre-lisse et sphérique
  - Diffraction sur terre unie
  - Diffraction sur arêtes multiples
  - Réfraction troposphérique

### ▶ Précisions :

- Erreur moyenne : inférieur à 1,5 dB
- Ecart type: de l'ordre de 6 dB

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D25 - 23/04/2004

## Le modèle rural: le modèle UHF



### ▶ Domaine de validité

- Fréquence : 400, 900 et 1800 MHz
- Distance : 200m – 50 km

### ▶ Prend en compte:

- BdD géographiques (MNT, MNS) de type maillé
- Différents affaiblissements:
  - Espace libre
  - Diffraction sur arêtes multiples
  - Affaiblissement de sursol
  - De termes correctifs (hauteur des antennes, du coefficient d'engagement, du nombre de points engagés dans l'ellipsoïde de Fresnel, dénivellation)

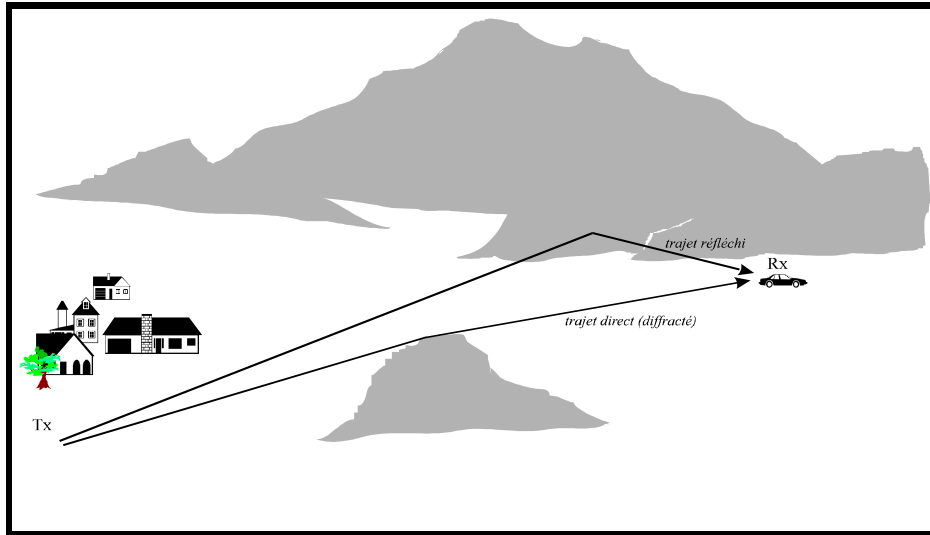
### ▶ Précisions :

- Erreur moyenne : 0 (modèle centré)
- Ecart type: de l'ordre de 7 dB

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D26 - 23/04/2004

## Le modèle montagneux



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D27 - 23/04/2004

## Le modèle montagneux



- ▶ **Prend en compte:**
  - Le trajet direct
  - Les trajets réfléchis sur le flanc des montagnes avoisinantes
- ▶ **L'identification des zones de réflexion rend les algorithmes de calcul de l'affaiblissement plus complexes et plus gourmands en temps de calculs que le modèle UHF par exemple**
- ▶ **Précisions :**
  - Erreur moyenne : 0 (modèle centré)
  - Ecart type: de l'ordre de 6.2 dB
- ▶ **L'amélioration apportée par ce modèle / modèle rural est importante non seulement en haute montagne (Alpes, Pyrénées) mais également en moyenne montagne (Vosges)**

France Télécom R&D

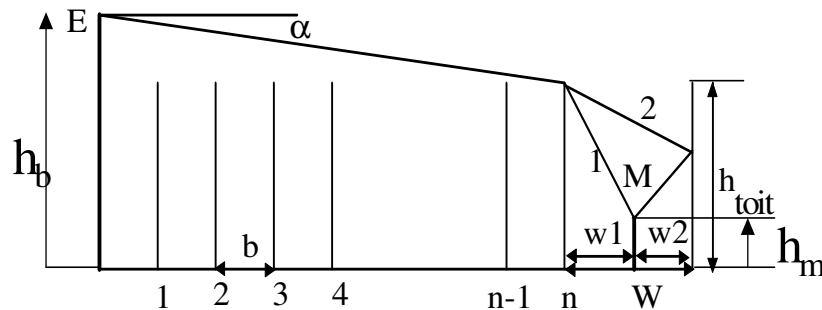
La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D28 - 23/04/2004

## Les modèles petites cellules



- ▶ Antenne placée au dessus du niveau des toits (ingénierie du GSM (900 MHz) et DCS1800 (1800 MHz) avec une émission de 5 à 15 m au-dessus des toits)
- ▶ Intégration sur le profil de différents algorithmes de calcul de la diffraction multiple sur une succession d'arêtes (modèle de WALFISH et BERTONI, IKEGAMI, DEYGOUT,...)
- ▶ Prise en compte de l'influence du relief et du sursol par l'intermédiaire d'une base de données géographiques plus ou moins précise (Contour de Base)

## Représentation schématique du profil E-R



## Modèle « petite-cellule »



### ▶ Prise en compte de 2 contributions dans le plan E-R

- Un trajet direct entre la dernière arête et le mobile
- Un trajet qui se réfléchit sur le bâtiment derrière le mobile

### ▶ Affaiblissement total

$$L = L_0 + L_{msd} + L_{rts} + L_{deg}$$

- Les pertes liées à la distance entre l'émetteur et le récepteur
- Les pertes liés à la diffraction multiples sur les arêtes
- Les pertes liées à la dernière diffraction et à la réflexion respectivement sur les immeubles et derrière le mobile
- Les pertes liées à la diffraction sur une arête principale

## Modèle « petite-cellule »



### ▶ Les pertes liées à la distance entre l'émetteur et le récepteur : Affaiblissement en espace libre

$$A_0 = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$L_0 = -10 \log_{10} (A_0)$$



## Modèle « petite-cellule »



- Les pertes liées à la diffraction multiple sur les arêtes (le modèle de Walfish et Bertoni révisé par COST-231)

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10} d + k_f \log_{10} f - 9 \log_{10} b$$

où :

$$L_{bsh} = -18 \log_{10} (1 + (h_b - h_{toit})) \text{ pour } h_b > h_{toit}$$

$$L_{bsh} = 0 \text{ pour } h_b \leq h_{toit}$$

## Modèle « petite-cellule »



- Les pertes liées à la diffraction multiple sur les arêtes (le modèle de Walfish et Bertoni révisé par COST-231 (suite 1))

$$k_a = 54 - 0.8(h_b - h_{toit}) \frac{d}{0.5} \text{ si } h_b \leq h_{toit} \text{ et } d < 0.5km$$

$$k_a = 54 - 0.8(h_b - h_{toit}) \text{ si } h_b \leq h_{toit} \text{ et } d \geq 0.5km$$

$$k_a = 54 \text{ si } h_b > h_{toit}$$

$$k_d = 18 - 15 \frac{h_b - h_{toit}}{h_{toit}} \text{ si } h_b \leq h_{toit}$$

$$k_d = 18 \text{ si } h_b > h_{toit}$$

$$k_f = -4 + 0.7 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) \text{ pour les villes moyennes et les zone urbaines}$$

$$k_f = -4 + 1.5 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) \text{ en milieu urbain dense}$$

## Modèle « petite-cellule »



- ▶ Les pertes liées à la diffraction multiple sur les arêtes (le modèle de Walfish et Bertoni révisé par COST-231 (suite 2))
- ▶ Le terme  $k_a$  représente l'accroissement d'affaiblissement lorsque l'antenne de la station de base est située au-dessous du niveau des toits des bâtiments adjacents
- ▶ Les termes  $K_d$  et  $k_f$  contrôlent la dépendance des affaiblissements dus à la diffraction multiple en fonction respectivement de la distance et de la fréquence

## Modèle « petite-cellule »



- ▶ Les pertes liées à la dernière diffraction et à la réflexion respectivement sur les immeubles et derrière le mobile
  - A)- le modèle COST-231

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log_{10} w(m) + 10 \log_{10} f(MHz) + 20 \log(h_{toit} - h_m) + L_{ori}$$

avec :

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & \text{pour } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ) & \text{pour } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55^\circ) & \text{pour } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases}$$

où :

- $w$  est la largeur de la rue,
- $f$  est la fréquence,
- $\varphi$  est l'angle entre l'axe de la rue et la direction d'incidence de l'onde.

## Modèle « petite-cellule »



### ▶ Les pertes liées à la dernière diffraction et à la réflexion respectivement sur les immeubles et derrière le mobile

➤ B)- le modèle FTR&D

$$L_{rst} = -20 \log_{10} \left( \frac{E}{E_0} \right)$$
$$E = \left( \frac{0.225}{\sqrt{2}} \right) * E_0 * \frac{\sqrt{\lambda * \left( w1 + \frac{2W-w1}{L_r^2} \right)}}{\Delta Hm}$$

$\Delta Hm$  est la différence entre la hauteur du mobile et la hauteur du dernier immeuble.  $L_r$  est l'inverse du coefficient de réflexion pour le trajet 2.

## Modèle « petite-cellule »



### ▶ Les pertes liées à la diffraction sur une arête principale

L'affaiblissement  $L_{deg}$  en dB est alors donné par :

$$L_{deg} = 0 \quad \text{si } \frac{h}{r} < -0.5,$$
$$L_{deg} = 6 + \frac{12h}{r} \quad \text{si } -0.5 \leq \frac{h}{r} < 0.5,$$
$$L_{deg} = 8 + \frac{8h}{r} \quad \text{si } 0.5 \leq \frac{h}{r} < 1,$$
$$L_{deg} = 16 + 20 \log_{10} \left( \frac{h}{r} \right) \quad \text{si } \frac{h}{r} \geq 1.$$

Le paramètre  $h$  représente la hauteur de l'arête par rapport à l'axe E-R ( $h > 0$  dès que l'arête coupe l'axe E-R et  $h < 0$  sinon) et  $r$  représente le rayon de l'ellipsoïde de Fresnel.

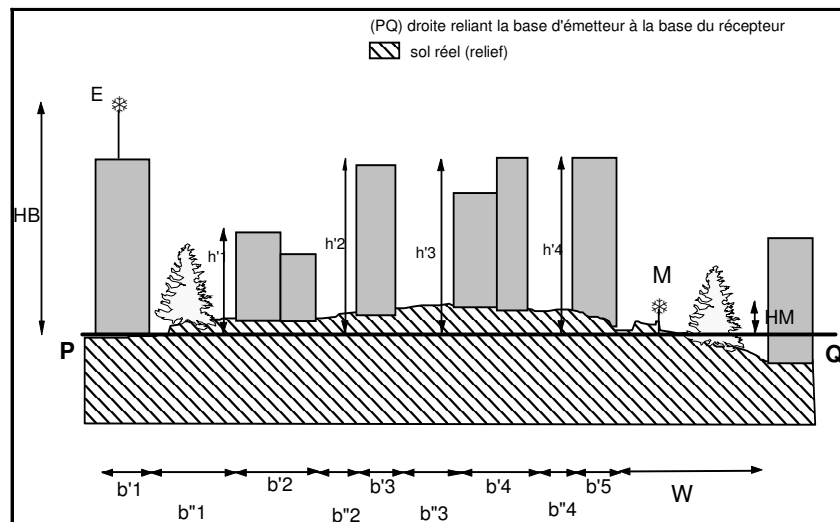
## Détermination du profil



▶ A partir d'un profil réel issu des données terrains contenues dans les fichiers Contours de Base, on extrait les paramètres nécessaires au calcul d'affaiblissement

- ▶ Variables géométriques
  - Largeur moyenne des rues
  - Largeur de la rue où se trouve le mobile
  - Hauteur moyenne des immeubles orientation de la rue où se trouve le mobile, ...
- ▶ Variables qualitatives caractéristiques de l'environnement
  - Récepteur en visibilité ou non de l'émetteur
  - Présence de végétation

## Détermination du profil



## Ajustement du modèle

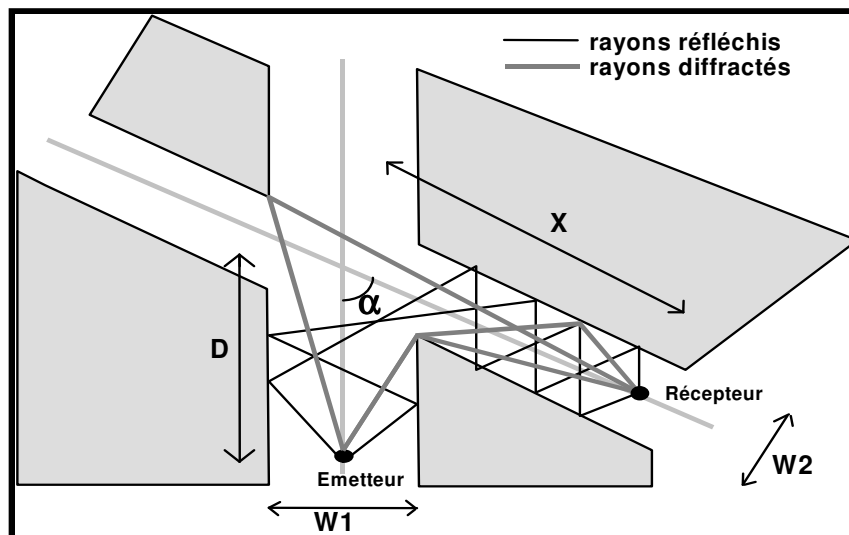


- ▶ Afin d'améliorer le modèle, on l'ajuste sur des mesures
- ▶ L'affaiblissement total du modèle :

$$AFF = L_0 + \alpha L_{msd} + \beta L_{rts} + \gamma L_{deg} + \sum_i c_i P_i$$

où les  $P_i$  désignent les différentes variables géométriques utilisées et où les coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $c_i$  sont les coefficients obtenus par simple régression linéaire sur un ensemble de mesures donné.

## Les modèles micro cellulaires



## Modèle Micro cellulaire



- ▶ L'affaiblissement au niveau du récepteur après le passage du coin se décompose ainsi:

$$Aff = AffVis + MAX (AffRe f, AffDif)$$

Où:

**AffVis** est l'affaiblissement en visibilité sur la distance D

**AffRef** est l'affaiblissement dû à la réflexion

**AffDif** est l'affaiblissement dû à la diffraction

## Modèle micro-cellulaire



- ▶ **Affaiblissement en visibilité**

$$Affvis = 32.4 + 20 \log_{10} (f) + 20 \log_{10} (D)$$

- ▶ **Affaiblissement dû à la diffraction**

$$AffDif = 32.4 + 20 \log_{10} (f) + 20 \frac{1}{2} \log_{10} (X (X + D) D) + 2D_a$$

$$D_a = \left( \frac{45}{2\pi} \right) a \tan \left( \frac{X}{W_2} \right) - \frac{23}{\pi} \left( \alpha - \frac{\pi}{2} \right)$$

## Modèle micro-cellulaire



### ▶ Affaiblissement dû à la réflexion

$$AffRef = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log_{10}(D + X) + SX$$

$$S = \frac{D}{W_1 W_2} f(\alpha)$$

- X est la distance du récepteur au coin de rue,
- $f(\alpha)$  est une fonction de l'angle  $\alpha$  de la rue.
- S représente la pente de la décroissance de la puissance au passage de la rue,
- $W_1$  et  $W_2$  sont les largeurs de rue en visibilité et en non visibilité,

## Modèle à lancer de rayon

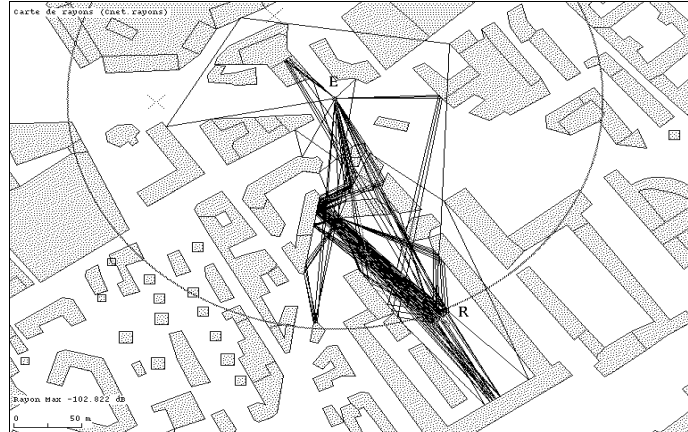


- ▶ La méthode consiste à lancer, dans toutes les directions, un ensemble de rayons à partir de l'émetteur et de retenir ceux qui atteignent le récepteur après plusieurs transmissions, réflexions et diffractions.
- ▶ Elle s'appuie sur des bases de données géographiques très précises
- ▶ Technique bien adaptée en milieu urbain
- ▶ Permet d'obtenir des résultats de calculs très riches en information (rayons, angles d'arrivée, champs, les réponses impulsionnelles, ...)
- ▶ Inconvénients : temps de calcul important

## Modèle à lancer de rayon



- ▶ **Rayons diffractés et réfléchis entre un émetteur et un récepteur**



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D47 - 23/04/2004

## Modèle de pénétration



- ▶ **Perte de puissance subie par le champ électromagnétique entre l'extérieur autour du bâtiment et une ou plusieurs positions à l'intérieur de l'immeuble.**
- ▶ **Les principaux paramètres affectant les valeurs d'affaiblissement sont multiples:**
  - › L'environnement proche
  - › La profondeur de réception dans les bâtiments
  - › L'angle d'incidence
  - › La hauteur de réflexion (effet d'étage)
  - › La hauteur de l'antenne d'émission
  - › La fréquence
  - › Le type de matériaux (béton, bois, plâtre, ....)

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D48 - 23/04/2004



# Modèle de pénétration



## ▶ Le modèle de MOTLEY

➤  $L_c$  est une constante

$$L = L_0 + L_c + \sum_{j=1}^N N_j L_j + N_f L_f$$

où :  $N_j$  est le nombre de murs traversés de type j,

$L_j$  sont les pertes dues aux murs de type j,

$N$  est le nombre de types de murs différents,

$N_f$  est le nombre de dalles traversées,

$L_f$  sont les pertes par dalle.

# Modèle de pénétration



## ▶ Valeurs typiques de pertes en fonction du type de matériaux

Matériaux	Pertes (dB)
Béton poreux	6.5
Vitre renforcée	8.0
Béton (30 cm)	9.5
Mur composé de béton épais (25 cm) avec de grandes vitres	11.0
Mur composé de béton épais (25 cm) sans vitres	13.0
Mur épais (>20 cm)	15
Dalle	23

# Modèle à l'intérieur des bâtiments



## ► Modélisation identique à la pénétration

$$L = L_0 + L_c + \sum_{j=1}^N N_j L_j + N_f L_f$$

où :

$N_j$  est le nombre de murs traversés de type  $j$ ,

$L_j$  sont les pertes dues aux murs de type  $j$ ,

$N$  est le nombre de types de murs différents,

$N_f$  est le nombre de dalles traversées,

$L_f$  sont les pertes par dalle.

# Modèle à l'intérieur des bâtiments



## ► Pertes par transmission de différents matériaux

Matériaux	Pertes (dB)
Plaquo-plâtre	1.5
Bois	1.5
Vitre	2.0
Mur très peu épais (brique < 14 cm)	2.5
Brique	2.5
Mur de béton peu épais (<10 cm)	6.0
Mur double de béton (2*20 cm)	17.0
Dalle	23

## Modèle large bande



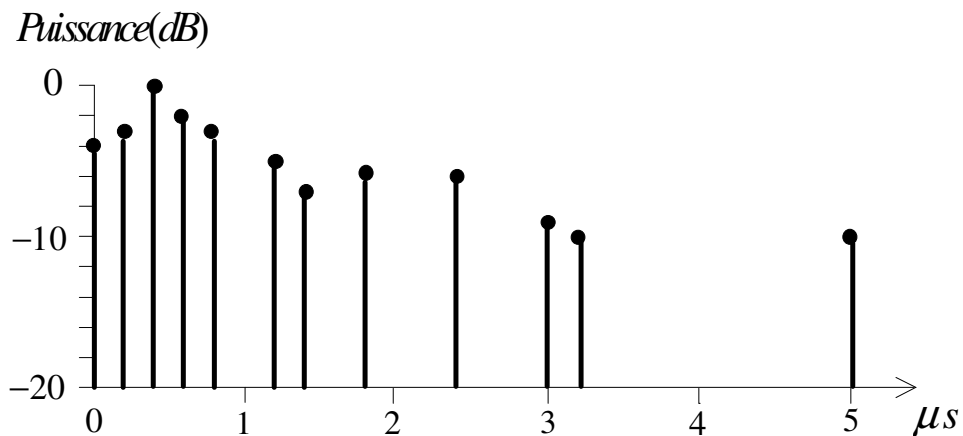
### Modèle de RI (forme tableau)

N° de trajet	Retard ( $\mu$ s)	Puissance	Doppler	DS ( $\mu$ s)
1	0.0	-10	Rayleigh	5.0
2	0.2	-8	Rayleigh	
3	0.4	-6	Rayleigh	
4	0.6	-4	Gauss 1	
5	0.8	0	Gauss 1	
6	2.0	0	Gauss 1	
7	2.4	-4	Gauss 2	
8	15.0	-8	Gauss 2	
9	15.2	-9	Gauss 2	
10	15.8	-10	Gauss 2	
11	17.2	-12	Gauss 2	
12	20.0	-14	Gauss 2	

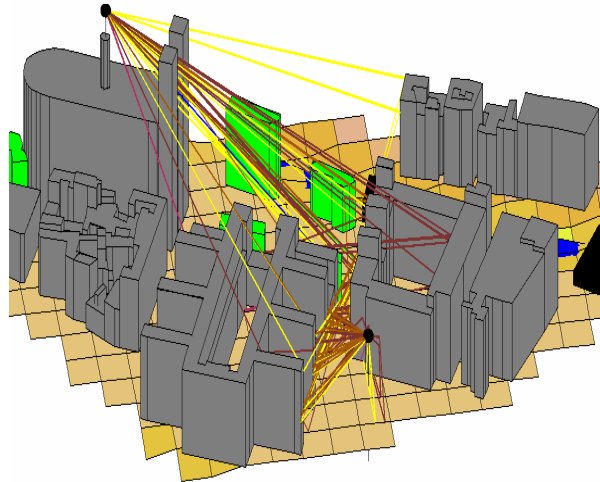
## Modèle large bande



### Modèle de RI (forme graphique) : représentation d'un canal GSM TU (environnement urbain) à 12 trajets



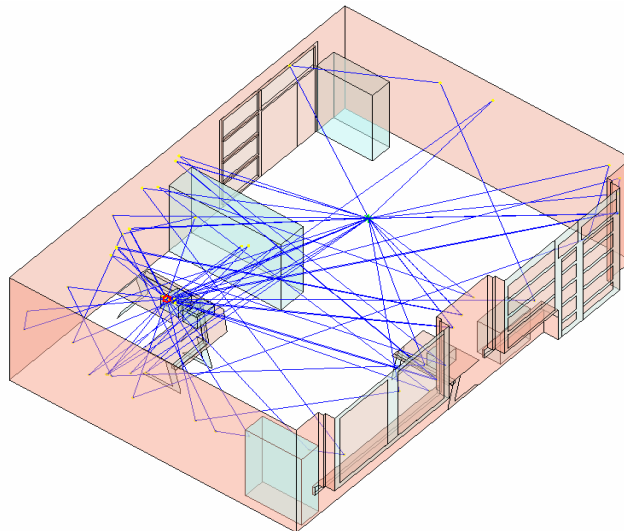
## Modèles à rayons (outdoor)



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D55 - 23/04/2004

## Modèles à rayons (indoor)



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D  
D56 - 23/04/2004

## Outil d'ingénierie radioélectrique



- ▶ **Outil de planification de réseaux cellulaires assistée par ordinateur**
- ▶ **Apporte les moyens pour:**
  - Concevoir
  - Étudier
  - Optimiser l'ingénierie radioélectrique
- ▶ **Prédit le champ reçu de divers émetteurs en utilisant:**
  - Une base de données géographiques
  - Des modèles de propagation validés par des ensembles de mesures sur le terrain
- ▶ **Prédit et analyse les brouillages causés par la réutilisation de fréquences**

## Outil d'ingénierie radioélectrique



- ▶ **Une interface graphique souple permet, en superposant plusieurs calques, de visualiser simultanément les résultats en 2 dimensions**
- ▶ **Permet aux exploitants de concevoir et d'optimiser leurs réseaux, en minimisant les mesures radioélectriques nécessaires sur le terrain**
- ▶ **Site Web donnant une liste d'outils de planification de systèmes radioélectriques disponibles sur le marché:**
  - <http://members.shaw.ca/propagation/planning.html>

# Outil d'ingénierie radioélectrique



## ▶ Principales caractéristiques d'un outil d'ingénierie

- -IHM (saisie et manipulation des données)
- Bases de données géographiques (type, format, précision,...)
- Modèles de propagation utilisés (précision)
- Type d'environnement et systèmes étudiés
- Interface graphique (visualisation des résultats)
- Import/export des données
- Support d'installation (PC/Windows, station de travail, ...)
- Formes d'utilisation (autonome, intégration à une application, à un serveur, ...)
- Performance (temps de calcul, mémoire, ....)
- Coût
- ....