

CONTEXTE ET OBJECTIFS

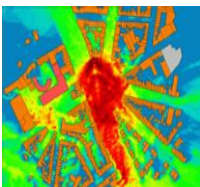
Contexte



- > **Besoin de modéliser l'exposition aux ondes électromagnétiques(OEM)**
 - Augmentation croissantes des technologies radio
 - Possible avec les outils de calcul actuels
 - Développement d'un logiciel de simulation de l'exposition aux OEM à l'échelle d'une ville
 - Utilisation conjointe avec des mesures

> **Utilisation du logiciel**

- Analyse et la gestion des risques liés aux ondes
- Attribution de permis d'environnement
- Méthode réglementaire
- Aide à la décision Public



> **Absence de consensus sur :**

- La définition des paramètres de la méthode de calcul
- Les incertitudes associées
- L'interprétation des résultats

> **Absence d'indicateurs :**

- Champ proche : DAS (Débit d'Absorption Spécifique en W/kg)
- Champ lointain : champ électrique très variable dans l'espace

Objectifs

> **A court terme**

- Renforcer la légitimité de la méthode de calcul dans le contexte générale de la caractérisation de l'exposition
- Faciliter l'interprétation des résultats
- Connaître les limites de la méthode de calcul
- Produire des vecteurs de restitution de résultat pertinents

> **A long terme**

- Participer à l'identification et la définition d'indicateurs d'exposition aux OEM

Publications-Valorisations

- « Estimating and Reducing Uncertainties in Ray-Tracing Techniques for Electromagnetic Field Exposure in Urban Areas » IEEE APWC-ICEAA 2013, N.Noé,F.Gaudaire, M.Lo-Ndiaye,Turin (Congrès avec actes)
- « Analysis of Electric Field Spatial Variability in Simulations of Electromagnetic Waves Exposure to Mobile Telephony Base Stations »,M.Lo-Ndiaye,N.Noé, P.Combeau, Y.Pousset, F. Gaudaire, EUCAP 2015, Portugal (Congrès avec actes)
- « Toward a stand-alone monitoring system for mobile telephony base stations exposure using simulations and smartphone crowdsourcing », N.Noé, M.Lo-Ndiaye, F.Gaudaire, P.Combeau, URSI-AT-RASC 2015, Canarie (Congrès avec actes)
- Consolidation de la méthode de calcul du logiciel commercial MITHRA-REM pour la cartographie de l'exposition aux OEM
- Contribution aux résultats du projet de recherche PNR EST DICER (exploitation analyse spatiale globale et locale)
- Contribution au projet de recherche PNR EST VIGIEXPO (exploitation de la nouvelle méthode CSTB2013, et des indicateurs retenues pour l'optimisation des informations manquantes ou imprécises)

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

1. Amélioration du critère de comparaison de mesures et simulations pour prendre en compte un maximum de cas de configurations d'exposition
2. Confrontation des résultats de la variabilité temporelle avec le protocole ANFR
3. Publication d'un revue

PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. Nouvelle version du logiciel : CSTB2013
2. Fiabilité par rapport aux mesures : conformes à ceux de la

| Parcours | Poitiers | Munich0 | Munich1 | Munich2 |
|-------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Incertitude | | | | |
| Corrélation [Min-Max] | [0.911-0.966] | [0.849-0.937] | [0.668-0.806] | [0.758-0.874] |
| Moyenne | 0.9510 | 0.906 | 0.748 | 0.828 |
| Ecart-type | 0.00962 | 0.02659 | 0.03539 | 0.03686 |
| Intervalle de confiance | [0.9501-0.9514] | [0.9041-0.9074] | [0.746-0.750] | [0.826-0.830] |
| σ_{opt} (dB) [Min-Max] | | | | |
| Moyenne | [2.602-4.422] | [6.849-11.479] | [6.846-11.116] | [8.558-13.456] |
| Ecart-type | 3.263 | 8.483 | 8.593 | 10.420 |
| Intervalle de confiance | [0.369-3.285] | [1.455-8.393-8.573] | [1.173-8.520-8.666] | [1.525-10.325-10.514] |

3. Meilleure connaissance des méthodes de lancer de rayon

- > La réflexion sur les façades est le paramètre le plus influant sur les résultats de simulation
- > Il est important aussi de prendre en compte la diffraction
- > Les propriétés des matériaux usuels du sol n'influent pas sur les résultats
- > Les propriétés des matériaux du bâtiment doivent être prises en compte pour une meilleure optimisation

4. Limites des méthodes de lancer de rayon

- > Besoin d'un modèle géométrique précis
- > Nécessite des paramètres d'antenne précis
- > Nécessite un modèle de végétation

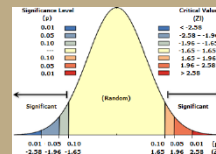
5. Nouveaux critères de comparaison mesures/modélisations

- > Caractérisation de l'exposition
- > Optimisation des paramètres imprécis ou manquants
- > Comparaison de modèle ou de méthode

6. Caractérisation de la variabilité spatiale

- > Existence d'une autocorrélation spatiale du champ électrique en un point par rapport à ses voisins (Indice de Moran)

| R en fraction de λ | Z_{direct} | | $Z_{reflexions}$ | | $Z_{diffractions}$ | |
|----------------------------|--------------|-------|------------------|---|--------------------|---|
| | Z_i | P | Z_i | P | Z_i | P |
| $\frac{1}{2}$ | 92.85 | 0 | 99.68 | 0 | 101.18 | 0 |
| $\frac{1}{3}$ | 87.92 | 0 | 96.57 | 0 | 96.38 | 0 |
| $\frac{1}{4}$ | 80.79 | 0 | 88.75 | 0 | 92.48 | 0 |
| $\frac{1}{5}$ | 69.39 | 0 | 84.49 | 0 | 85.77 | 0 |
| 1 | 57.69 | 0 | 89.91 | 0 | 61.06 | 0 |
| 2 | 41.48 | 0 | 81.02 | 0 | 24.69 | 0 |
| 3 | 14.17 | 0 | 84.60 | 0 | 28.45 | 0 |
| 4 | 5.18 | 0 | 107.11 | 0 | 28.67 | 0 |
| 5 | 1.65 | 0.102 | 109.08 | 0 | 28.49 | 0 |
| 6 | -0.19 | 0.39 | 110.30 | 0 | 23.00 | 0 |
| 7 | -1.30 | 0.17 | 111.34 | 0 | 19.89 | 0 |

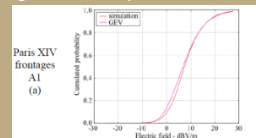


Dépendance spatiale jusqu'à 4λ (zone directe)

Champ électrique homogène (zone masquée)

- > Identification de la loi des valeurs extrêmes généralisées pour simuler l'exposition à l'échelle d'une ville

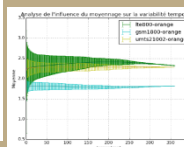
$$F(\mu, \sigma, \xi) = \exp \left\{ \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}$$



7. Caractérisation de la variabilité temporelle

- ✓ La visibilité par rapport à l'émetteur, la technologie, et le profil (matin-soir) influencent hautement la durée de moyennage (protocole ANFR fixe 6mn pour tout)
- ✓ GSM : 2mn au plus quelque soit le profil et la visibilité
- ✓ Zone masquée : durée de moyennage 2mn quelque soit la technologie et le profil
- ✓ Zone de visibilité directe : durée de moyennage supérieur a 6mn en fonction d'un objectif de variation, durée dépend des technologies (UMTS, GSM, LTE) et du profil

| service-zone | Profil | LTE | | UMTS | | GSM | |
|--------------------|--------------|------|----------|------|----------|-----|----------|
| Z_{direct} | Profil-matin | 24mn | 2.64 V/m | 9mn | 2.93 V/m | 1mn | 1.52 V/m |
| | Profil-soir | 20mn | 1.92 V/m | 8mn | 2.14 V/m | 1mn | 1.42 V/m |
| $Z_{reflexions}$ | Profil-matin | 1mn | 0.12 V/m | 2mn | 0.23 V/m | ** | ** |
| | Profil-soir | 12s | 0.10 V/m | 1mn | 0.20 V/m | ** | ** |
| $Z_{diffractions}$ | Profil-matin | 12s | 0.13 V/m | 1mn | 0.12 V/m | 1mn | 0.17 V/m |
| | Profil-soir | 12s | 0.14 V/m | 1mn | 0.11 V/m | 1mn | 0.18 V/m |



Renseignement – Encadrants Pédagogique: Yannis Pousset-Pierre Combeau, Université Poitiers
Encadrant CSTB: Nicolas Noé, CSTB Nantes

Contact – mame-lo-ndiaye@cstb.fr