

RENCONTRE SCIENTIFIQUE

Radiofréquences et santé :

la recherche face à des technologies
en évolution rapide

23 novembre 2022

Espace Diderot - Paris 12^e

#RadiofrequencesRS

VigiExpo : un système autonome et collaboratif pour la caractérisation de l'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences

Nicolas Noé, ingénieur R&E, CSTB

Partenaires du projet : CSTB, Université de Poitiers, société Geomod



Contexte (1/2)

- Suivi de l'exposition aux champs électromagnétiques générés par les antennes de téléphonie mobile à l'échelle de la ville ou du territoire
- Exposition du public (« cartes de champs » en V/m) et pas individuelle (terminal, DAS)
- A l'échelle locale (« points atypiques ») et globale (statistiques, ...)
- En tant qu'observateur : réglementation locale, information du public, ...
- Comment ? Des mesures, des modélisations numériques (simulations, ...)



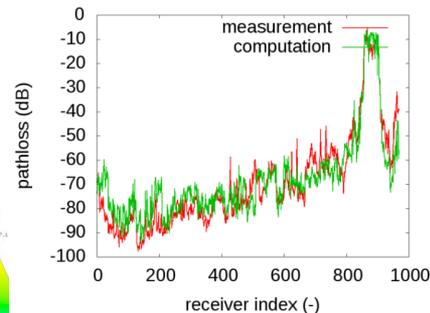
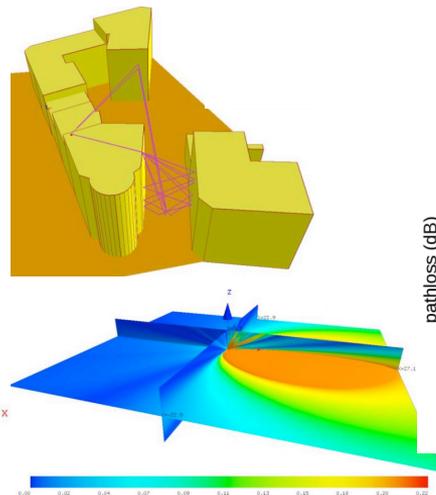
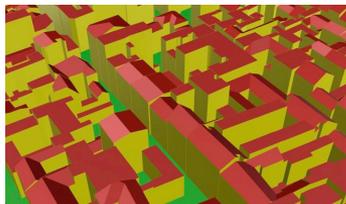
Contexte (2/2)

Mesures in situ : mesures réglementaires (protocole ANFR), campagnes de mesures dédiées (*drivetest*, ...), sondes à demeure (ex : observatoire des ondes), ...

- Localisées spatialement et / ou temporellement, large bande / spectral ?
- Coûts potentiellement élevés et mise en œuvre difficile

Modélisations numériques : type lancer de rayons

- Peu chères, rapides, à grande échelle et en tout lieu
- De nombreux paramètres difficiles à modéliser
- Extrêmement dépendantes des données sur les émetteurs radioélectriques



Contexte (2/2)

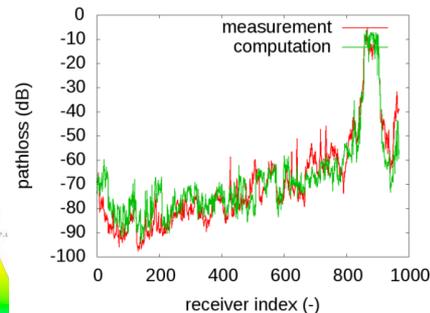
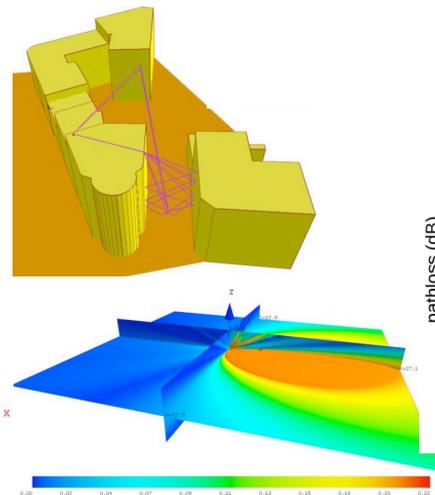
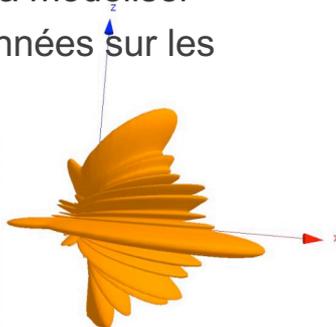
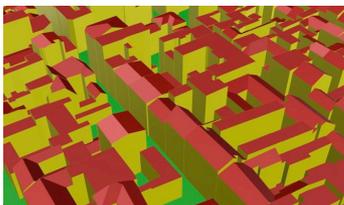
Mesures in situ : mesures réglementaires (protocole ANFR), campagnes de mesures dédiées (*drivetest*, ...), sondes à demeure (ex : observatoire des ondes), ...

- Localisées spatialement et / ou temporellement, large bande / spectral ?
- Coûts potentiellement élevés et mise en œuvre difficile

Modélisations numériques : type lancer de rayons

- Peu chères, rapides, à grande échelle et en tout lieu
- De nombreux paramètres difficiles à modéliser
- Extrêmement dépendantes des données sur les émetteurs radioélectriques

utiliser des smartphones comme sondes ?



Contexte (2/2)

Mesures in situ : mesures réglementaires (protocole ANFR), campagnes de mesures dédiées (*drivetest*, ...), sondes à demeure (ex : observatoire des ondes), ...

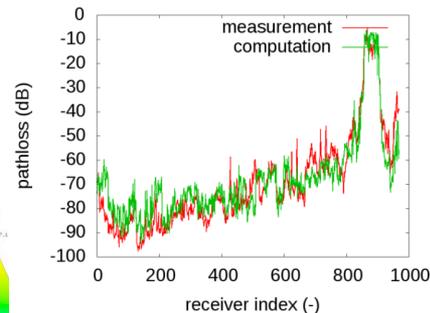
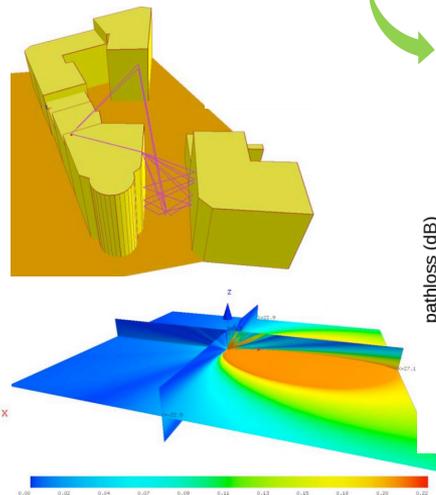
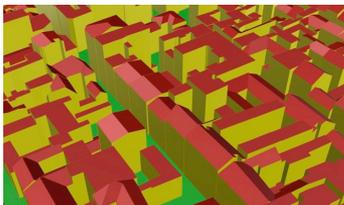
- Localisées spatialement et / ou temporellement, large bande / spectral ?
- Coûts potentiellement élevés et mise en œuvre difficile

Modélisations numériques : type lancer de rayons

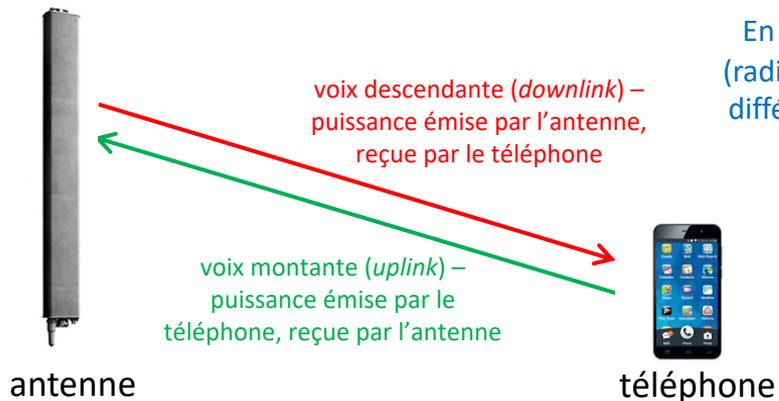
- Peu chères, rapides, à grande échelle et en tout lieu
- De nombreux paramètres difficiles à modéliser
- Extrêmement dépendantes des données sur les émetteurs radioélectriques

utiliser des smartphones comme sondes ?

se servir des mesures pour améliorer les modélisations



Des smartphones comme sondes (1/2)



En tout point de l'espace : champ électrique
(radio FM, antennes de téléphonie mobile, ...) :
différentes fréquences, puissances, signaux, ...

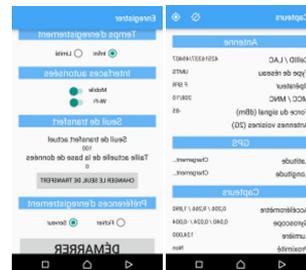
à tout moment le téléphone fait du
contrôle de puissance (cellule à laquelle
il est connecté vs cellules voisines)

**puissance reçue de l'antenne ↔
champ électrique induit par celle-ci**

Smartphone : une sonde de
champ électrique géolocalisée ?

**service de géolocalisation ↔
position de la mesure**

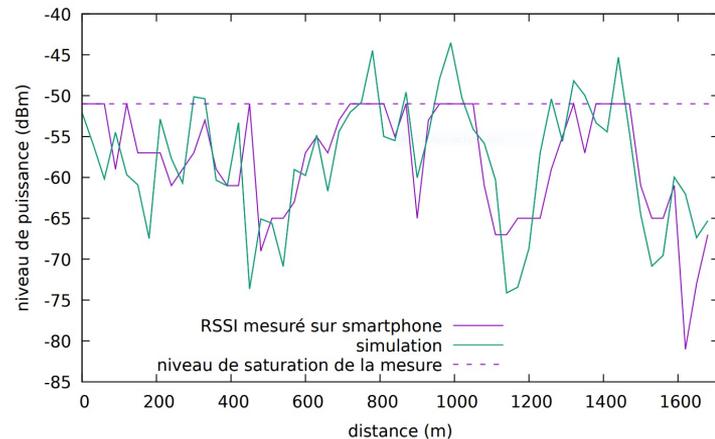
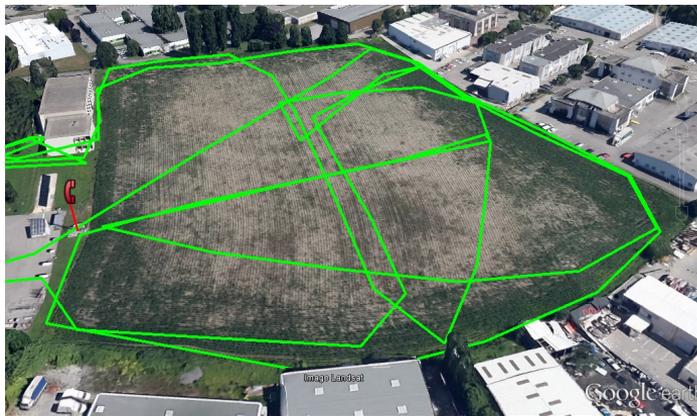
Application Android



Des smartphones comme sondes (2/2)

Smartphone : une sonde de champ électrique géolocalisée ? Mais...

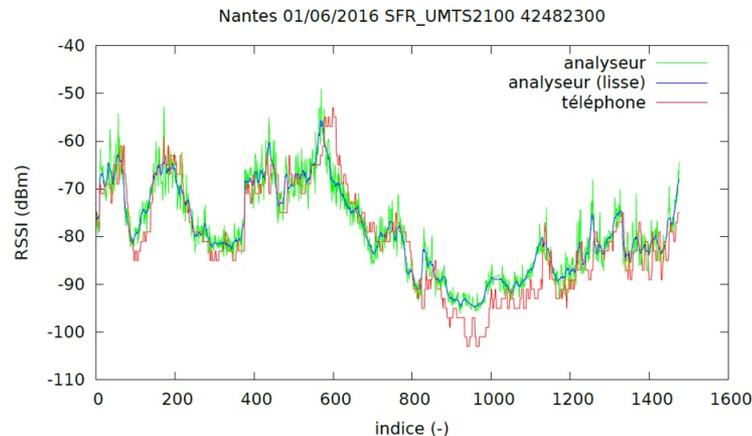
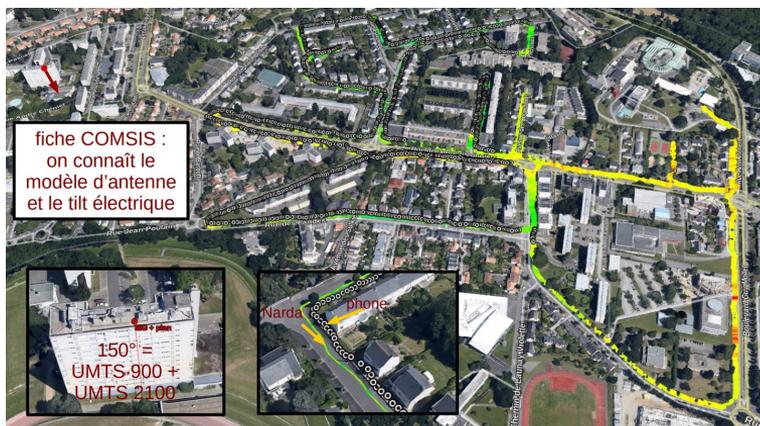
- Partielle : puissance reçue uniquement de l'antenne à laquelle on est connectée (opérateur, technologie, bande)
- Imprécise sur la valeur mesurée : niveau de puissance très discrétisée et saturé aux niveaux forts
- Imprécise sur la position de mesure : incertitude du GPS en horizontal (~20m), pas d'altitude, en extérieur uniquement



Des smartphones comme sondes (2/2)

Smartphone : une sonde de champ électrique géolocalisée ? Mais...

- Partielle : puissance reçue uniquement de l'antenne à laquelle on est connectée (opérateur, technologie, bande)
- Imprécise sur la valeur mesurée : niveau de puissance très discrétisée et saturé aux niveaux forts, facteur d'extrapolation
- Imprécise sur la position de mesure : incertitude du GPS en horizontal (~20m), pas d'altitude, en extérieur uniquement

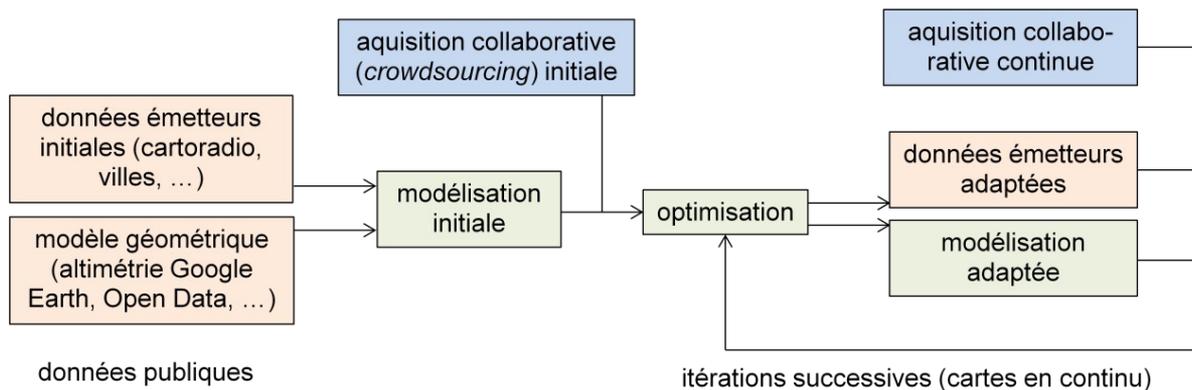


Concept

Compenser la mauvaise qualité des informations mesurées par la quantité :

- Des sonde à bas coût en quantité très importante, mobiles et autonomes (mais d'usage inconnu)
- Des quantités de mesures potentielles quasi-illimitée par production participative (*crowdsourcing*)
- Une dimension temporelle native (datation des mesures)

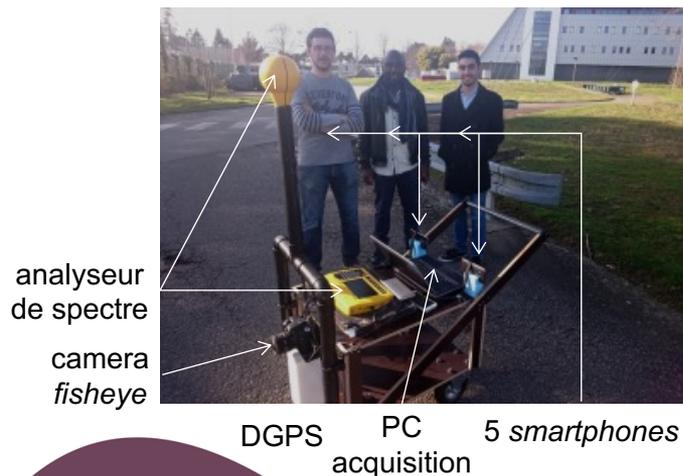
Hybrider les mesures sur *smartphones* avec des modélisations numériques :



Expérimentation (1/4)

Objectif : valider dans des conditions contrôlées

- Maîtriser les acquisitions dans un environnement avec un double numérique de qualité
- Doubler les mesures *smartphones* par des mesures plus précises (analyseur de spectre, DGPS)

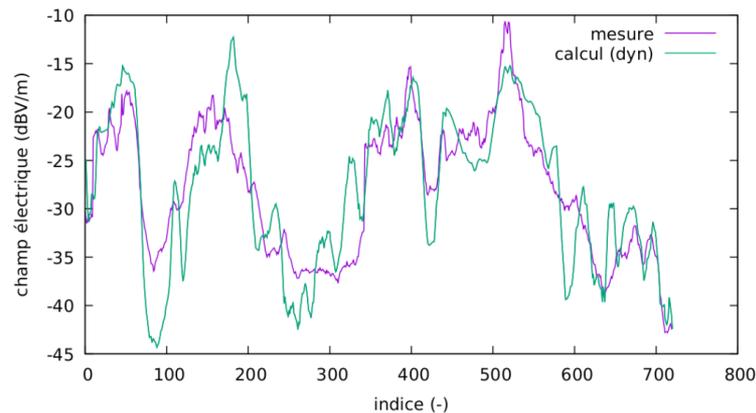
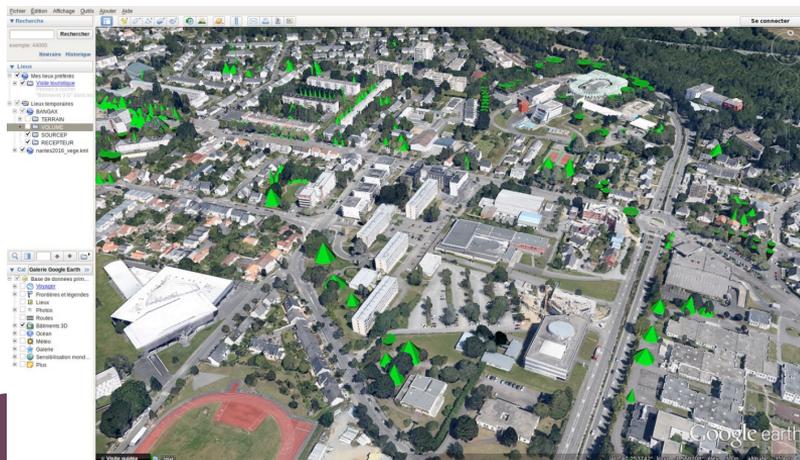


- Quartier de Nantes (1,6 km x 1,1 km)
- 3 sites d'émission :
1 sur mât, 2 sur bâtiments grande / faible hauteur
- 3 opérateurs x 3 technologies (2G, 3G, 4G)
- Parcours d'acquisition sur l'ensemble du quartier

Expérimentation (2/4)

Résultat : remonter à des caractéristiques mal connues des antennes (« autonome »)

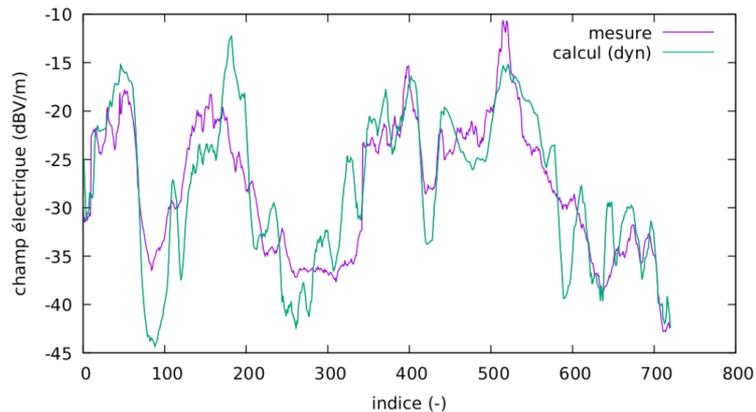
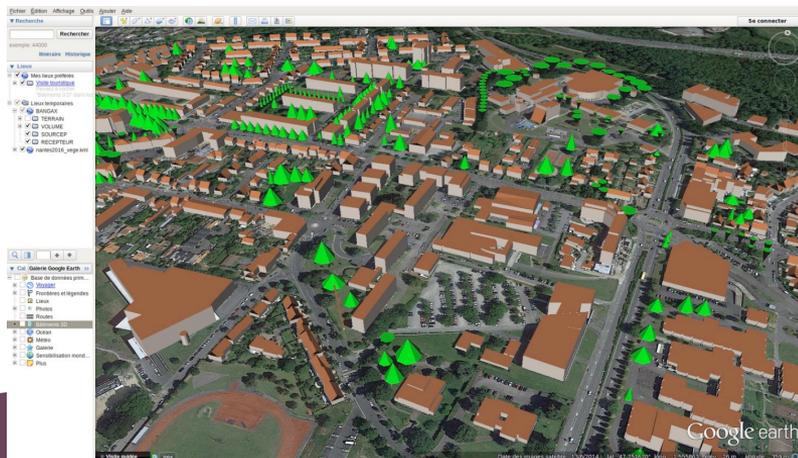
- Simulation numérique sur modèle du quartier de qualité (terrain, bâtiments et végétation)
- Algorithme d'optimisation (algorithme génétique) modifiant les caractéristiques géométriques (position) et électromagnétiques (diagramme de rayonnement) pour corréliser au mieux mesures et modélisation



Expérimentation (2/4)

Résultat : remonter à des caractéristiques mal connues des antennes (« autonome »)

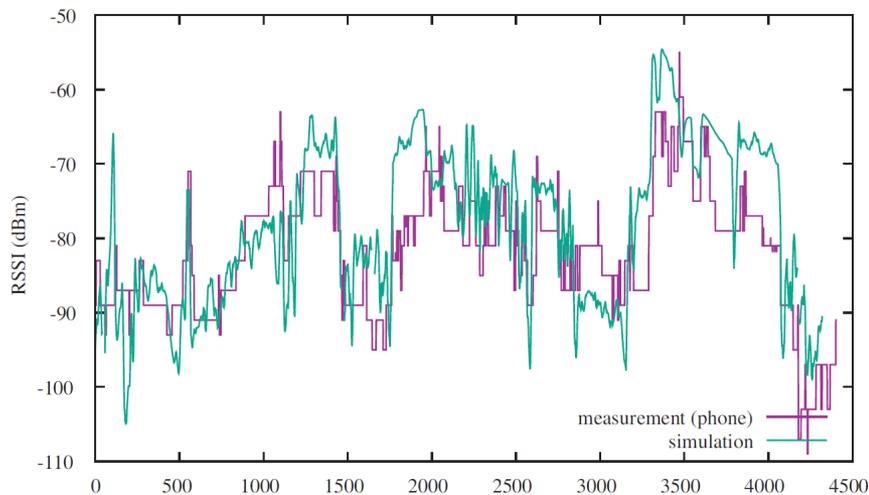
- Simulation numérique sur modèle du quartier de qualité (terrain, bâtiments et végétation)
- Algorithme d'optimisation (algorithme génétique) modifiant les caractéristiques géométriques (position) et électromagnétiques (diagramme de rayonnement) pour corrélérer au mieux mesures et modélisation



Expérimentation (3/4)

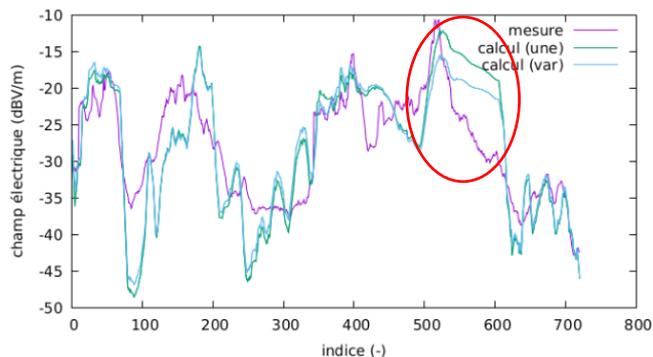
Exemple :

- Position d'une antenne recalée pour maximiser la corrélation entre les mesures et les simulations

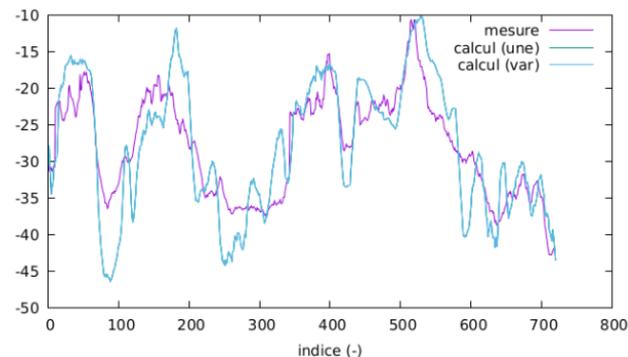


Expérimentation (4/4)

Exemple : effet combiné de la simulation et des mesures



avant optimisation

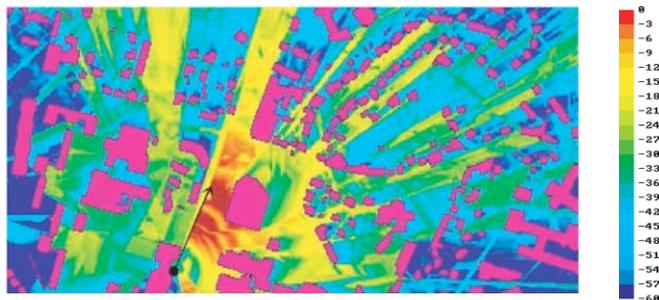


après optimisation

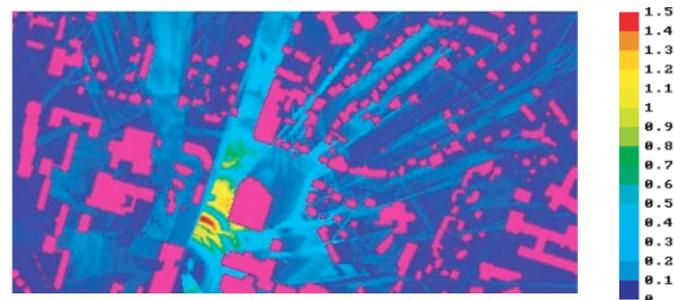
(sur la base d'indicateurs de corrélation et d'erreur)

Expérimentation (4/4)

Exemple : effet combiné de la simulation et des mesures



niveau de simulé après optimisation (dBV/m)



erreur entre niveau simulé avant et après optimisation (V/m)

Conclusions

- L'utilisation de mesures issues de *smartphones* permet d'améliorer la qualité des modélisations numériques « naturellement » et de mieux connaître l'exposition
- La méthode proposée ne demanderait pas de nouveaux moyens de mesures... mais ce projet de recherche s'est basé sur des données acquises dans des bonnes conditions (autonomie très limitée)
- Modifier les paramètres d'entrée pour améliorer la cohérence entre les modélisations et les mesures peut améliorer les paramètres d'entrée (ou non)... mais est-ce important ?
- On peut utiliser les informations de couverture téléphonique (bases de données collaboratives existantes , ex : opencellid, ...) déjà existantes pour enrichir les modélisations de l'exposition !

Merci de votre attention

- Pour en savoir plus : nicolas.noe@cstb.fr
- Logiciel de modélisation de l'exposition aux ondes EM : <https://www.geomod.fr/fr/geomatique-modelisation-3d/mithrarem>
- « *A Numerical Simulation System for Mobile Telephony Base Station EMF Exposure Using Smartphones as Probes and a Genetic Algorithm to Improve Accuracy* », P. Combeau, N. Noé & al, Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 87, 111–129, 2020
- « *Système Autonome et Collaboratif pour la Caractérisation de l'Exposition aux Champs Electromagnétiques Radiofréquences* », N. Noé, S. Joumessi, , F. Gaudaire, P.Combeau, congrès national de la SFRP, 2017
- Merci à : Pierre Combeau (XLIM), Jean-Benoit Dufour (GEOMOD), François Gaudaire (CSTB), Steve Joumessi (CSTB & XLIM) et Benjamin Saugues (CSTB)