

Atelier « Télédétection pour l'Etude des Milieux Urbains (TEMU) »

Toulouse - Météopole

16 janvier 2017

Application des outils de télédétection à l'amélioration des prévisions des nuisances sonores



IFSTTAR

B. GAUVREAU, P. AUMOND, G. GUILLAUME, N. FORTIN, J. PICAUT

Département Aménagement, Mobilité et Environnement (AME)

Laboratoire d'Acoustique Environnementale (LAE) >> **UMR AE**

www.lae.ifsttar.fr >> www.umrae.ifsttar.fr



Lab-STICC

E. BOCHER, G. PETIT

Equipe DECIDE

Contexte

● Contexte socio-économique

- « bruit » = nuisance souvent citée comme « principale » dans les enquêtes d'opinion publique, e.g. IPSOS 2000, INSEE 2002, TNS-SOFRES 2010, IFOP 2014, Rapport MEDD 2014, etc.
- Transport routier = source sonore majeure (devant fer, aérien, industrie, etc.)
- Zones urbaines et péri-urbaines : exposition multisources sonores
- Effets sur la santé : troubles auditifs, problèmes cardio-vasculaires, stress, insomnies, etc.
- Coût sociétal à l'échelle européenne estimé à plus de 1 million de DALYs* (OMS 2011)
- Coût financier à l'échelle nationale estimé à environ 1,7 milliard d'€ (+6%/an sur période 2000-2007)
- Coût social à l'échelle nationale estimé à 57 milliard d'€ par an



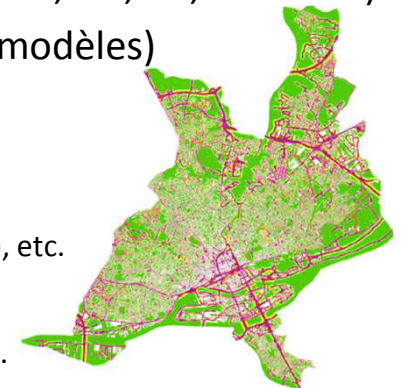
● Contexte législatif

- France : loi « Bruit » n°92-1444 (1992) + décrets d'application (1995)
- Union Européenne : directive cadre 2002/49/CE sur le « Bruit dans l'environnement »
- Évaluation, gestion des « points noirs » et des « zones calmes »... et information auprès du public !
- Cartographie sonore des villes européennes > 100 000 habitants (sources : route, fer, air, industrie)
- Harmonisation des pratiques pour la mesure (*in situ*) et la prévision du bruit (modèles)

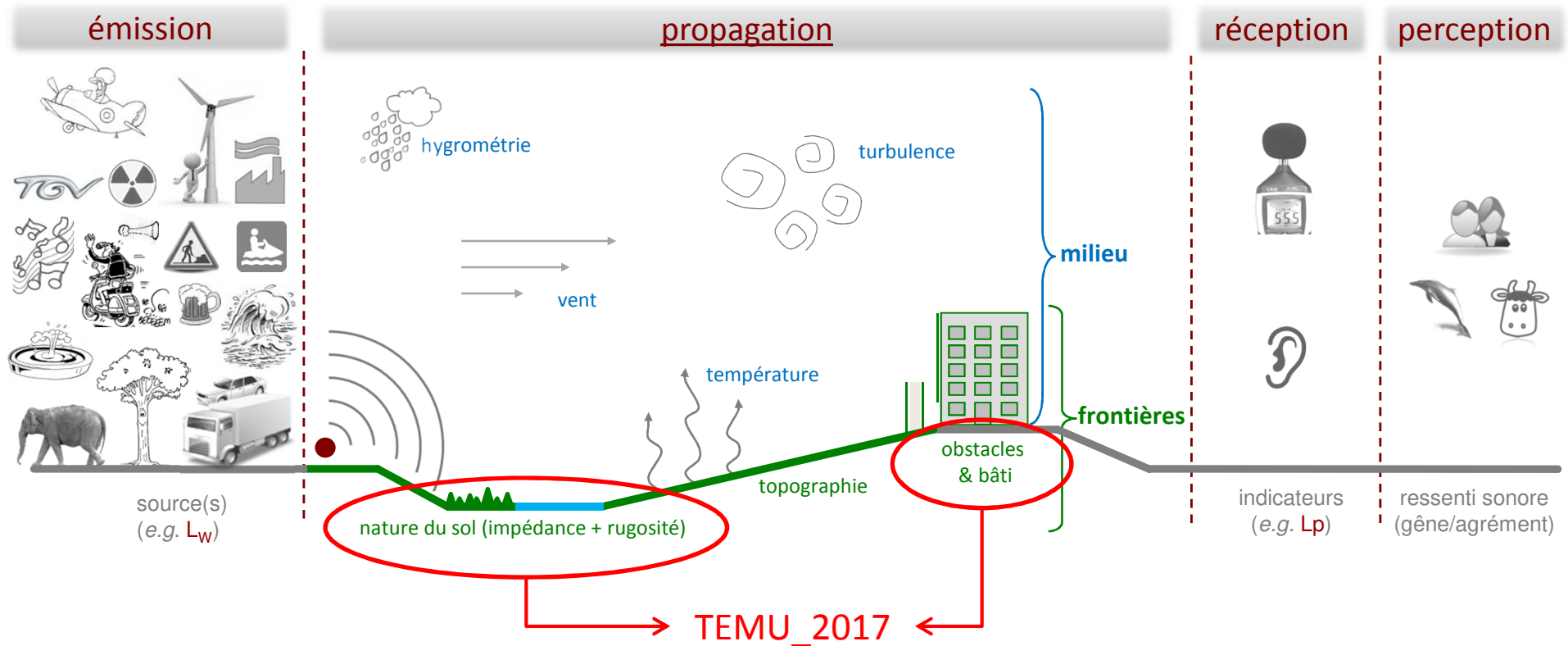


● Contexte normatif

- Commission AFNOR S30J « Bruit dans l'environnement »
 - GT : 31-110 (météo), 31-115 (incertitudes), 31-114 (éolien), 31-190 (aérien), 31-010 (indicateurs), etc.
- Commission AFNOR S30M « Acoustique des milieux extérieurs »
 - GT : 31-085 (route), 31-088 (fer), 31-130 (cartographie), 31-133 (calcul), 31-185 (long terme), etc.



Problématique

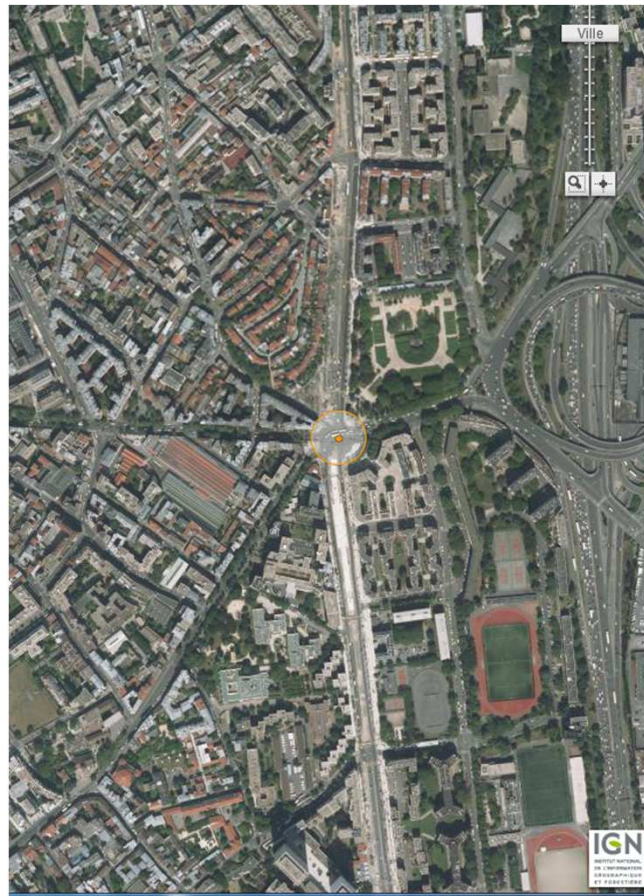
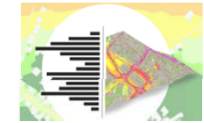


$$\begin{aligned}
 L_p &= L_W \pm \Delta_{\text{propagation}} = L_W \pm \Delta_{\text{milieu}} \pm \Delta_{\text{frontières}} \\
 &= L_W \pm \Delta_{\text{div}} \pm \Delta_{\text{atmos}} \pm \Delta_{\text{vent}} \pm \Delta_{\text{temp}} \pm \Delta_{\text{turb}} \pm \Delta_{\text{sol}} \pm \Delta_{\text{topo}} \pm \Delta_{\text{bâti}} \pm \dots
 \end{aligned}$$

Problématique



Scénario 0 : carte du bruit routier de l'état initial pour le quartier de Paris
période diurne, LAeq (6h - 22h) ; 2D (h ∞)



Présentation du site : quartier de Paris
(source : géoportail IGN)



Etat acoustique initial via OrbisGis_NoiseM@p

Niveaux sonores en dB (A)

<45	60 - 65
45 - 50	65 - 70
50 - 55	70 - 75
55 - 60	>75

TEMU_2017

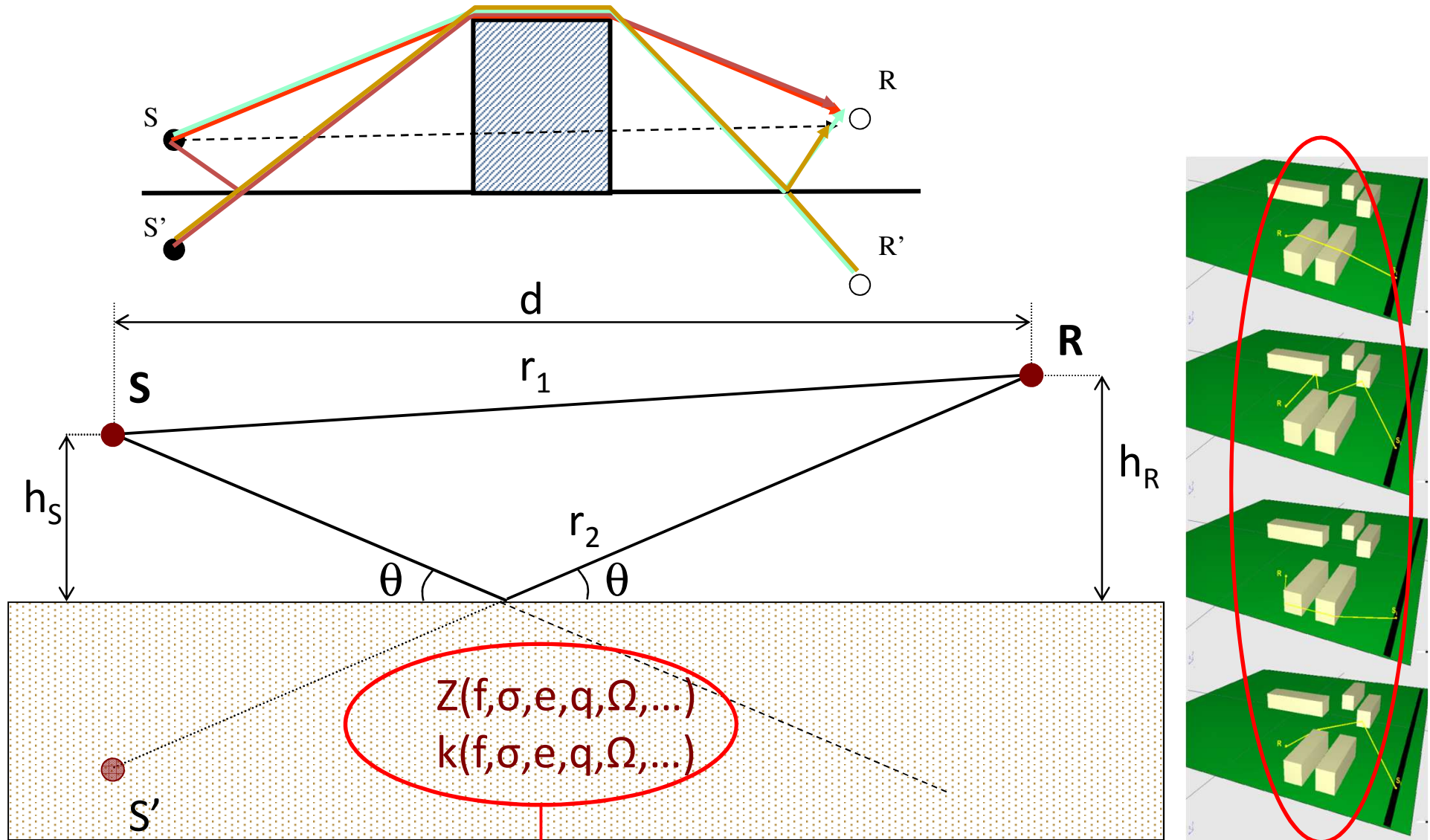


Commentaires :

- Hypothèses de trafic : simulations + estimations >> tendances !
- Carte de bruit routier en 2D
- L'effet de sol, de la topographie, de la diffraction verticale et les effets météo ne sont pas pris en compte

OrbisGIS : données SIG (BdTopo IGN mod.) + données trafic
NoiseM@p : calcul [émission + propagation] >> L_{Aeq}

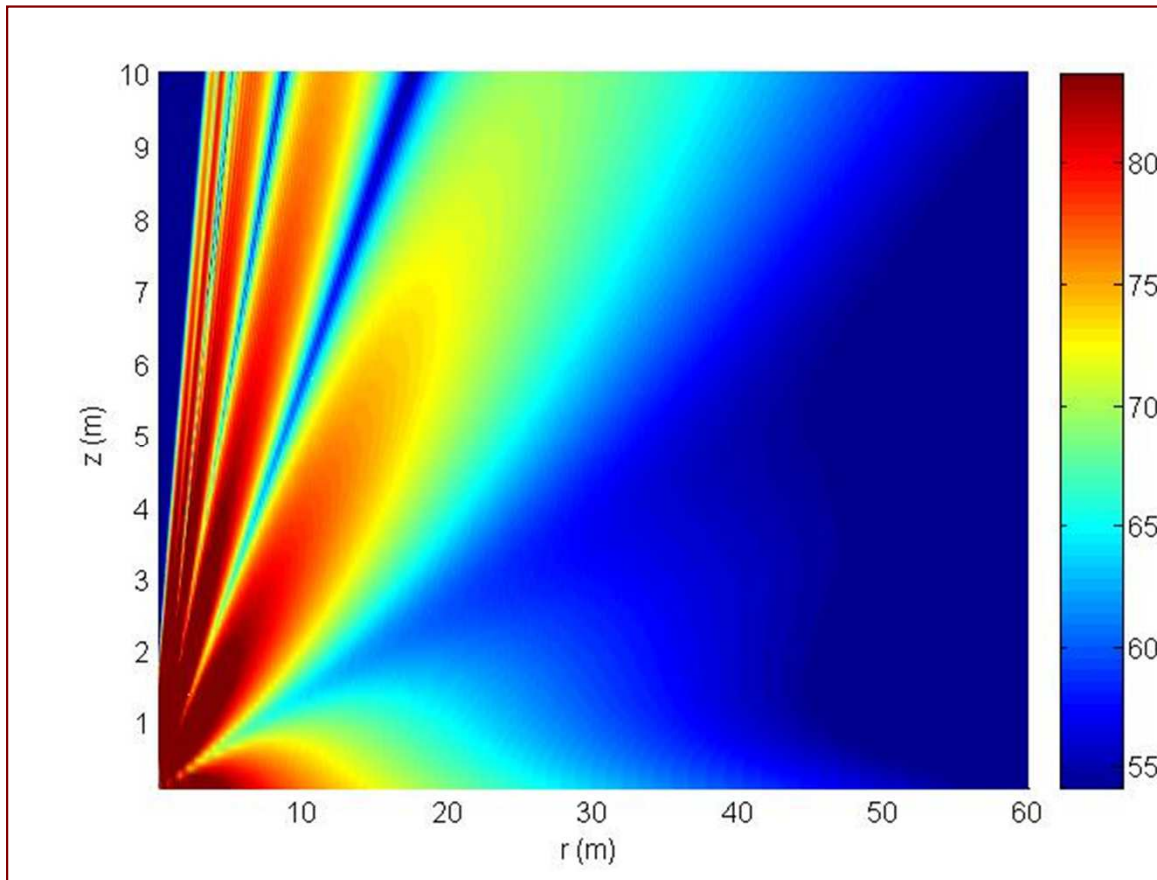
Réflexion + diffraction (verti+horiz)



TEMU_2017

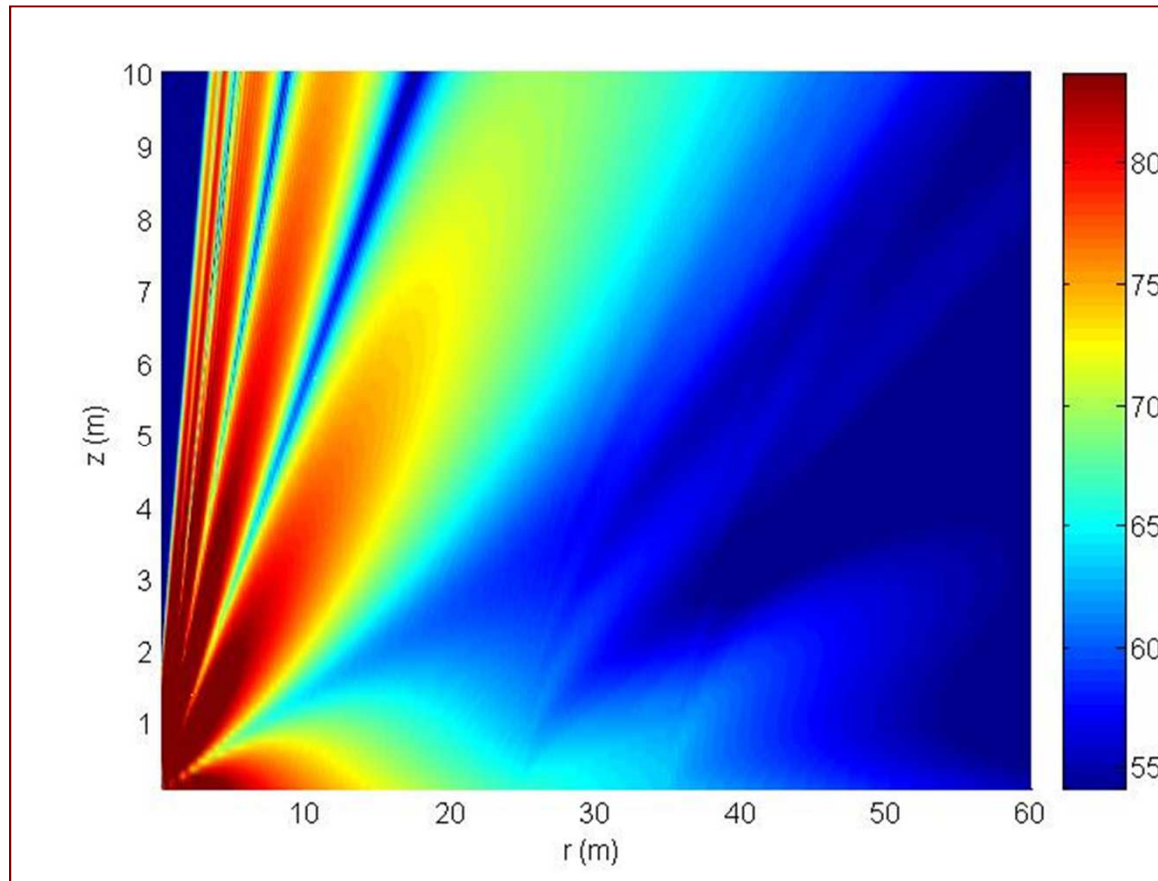


Effet de sol



Calcul Équation
Parabolique - 500 Hz - Sol
Herbeux (300 kNsm^{-4}) sur
tout le chemin de
propagation.

Effet de sol



Calcul Équation
parabolique - 500 Hz - Sol
Herbeux (300 kNsm^{-4}) -
Présence d'un cours d'eau
à une distance comprise
entre 25 m et 35 m de la
source (simulé par une
résistance spécifique au
passage de l'air de 30000 kNsm^{-4})

Mesure *in situ* de l'impédance des sols

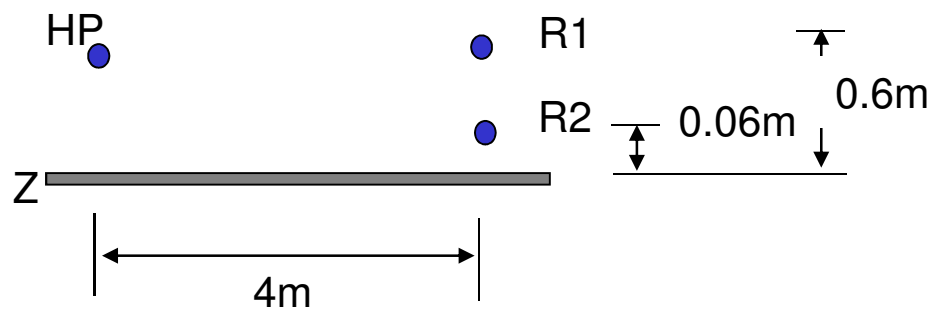
- Systèmes de mesure, de traitement et d'analyse des caractéristiques de sol (1980-2010)



- Développement d'un prototype de caractérisation semi-automatique *in situ* (2014-2017)

- All in one autonomous apparatus
- Scilab-based software (open source)
- *In situ* measurement + *in situ* parameters estimation

- Experimental setup :



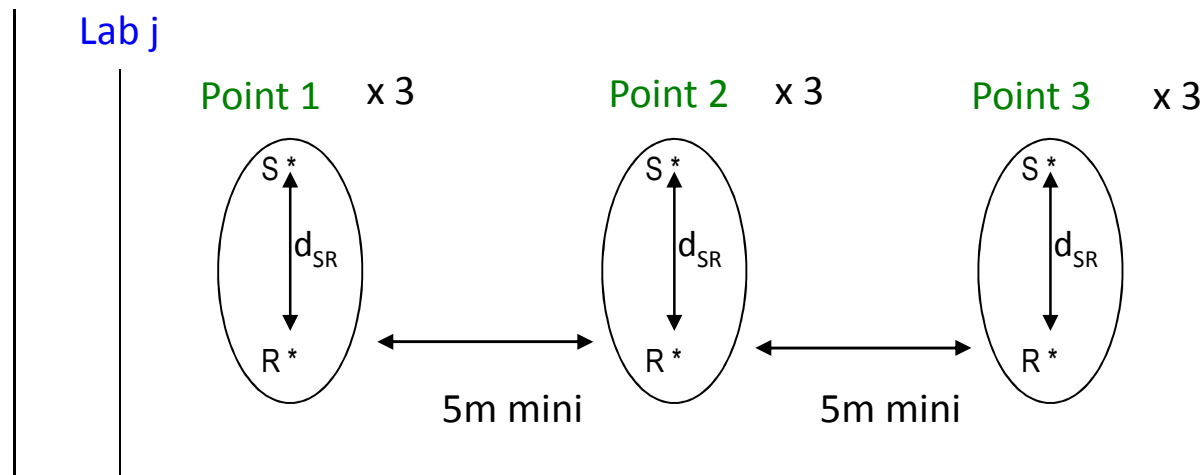
Mesure *in situ* de l'impédance des sols

- Round robin test : experimental protocol

- 5 laboratories, with the same kind of exp. device
- 3 repetitions / point

- 5 outdoor grounds
- 3 points / ground

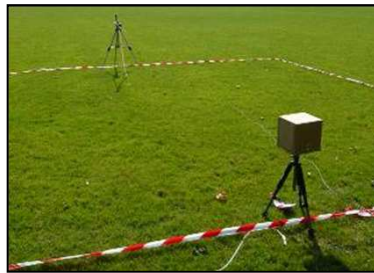
Ground *i*



Mesure *in situ* de l'impédance des sols

- Round Robin test : experimental protocol

- 5 kinds of outdoor grounds :



Synthetic
lawn

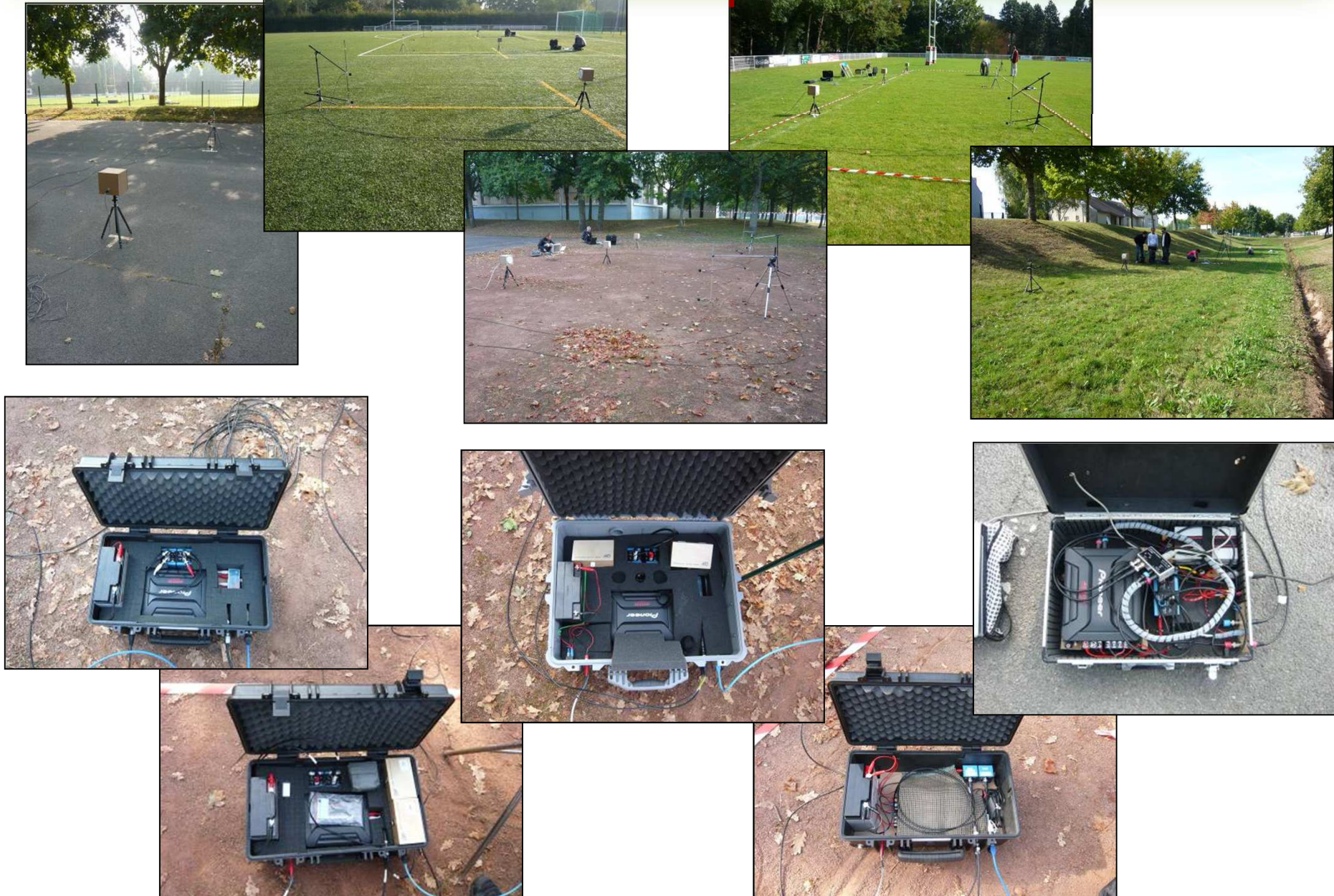
Natural
lawn

Natural
grass

Compacted
ground

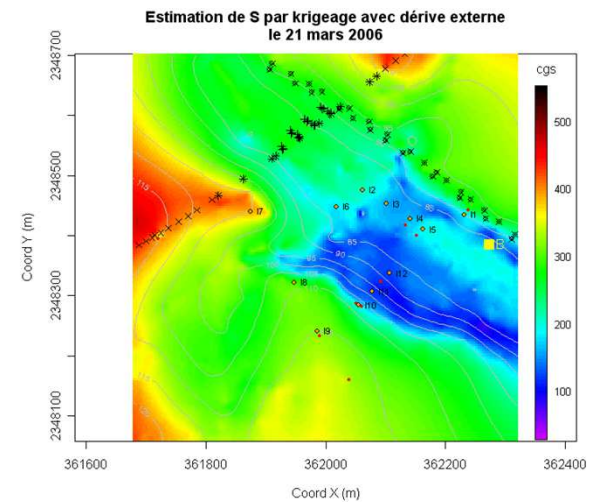
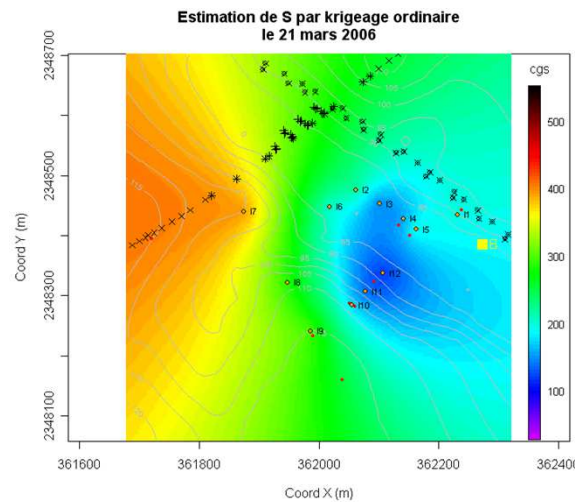
Non porous
asphalt

Mesure *in situ* de l'impédance des sols

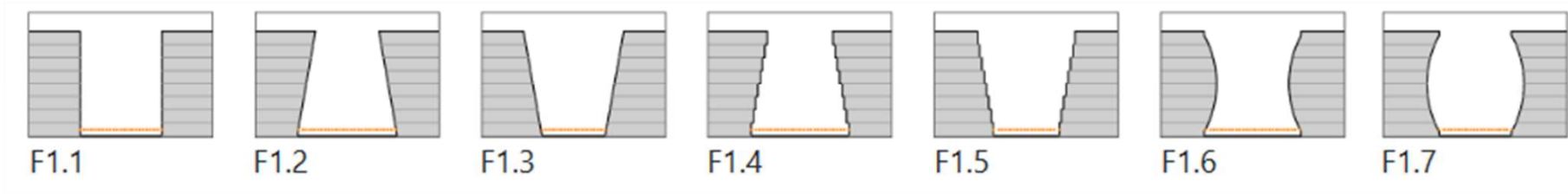


Mesure *in situ* de l'impédance des sols

- Prototype de mesure automatique in-situ (MIAME)
- Applications diverses
 - Laboratoires intéressés : EDF R&D, ISL, RENAULT, etc.
 - Traitement et analyse : variabilité spatiale et temporelle des paramètres σ , e ... et autres ?



Morphologie et rugosité du bâti



<http://www.ta.chalmers.se/downloads/open/intro/UrbanSoundPlanning.pdf>

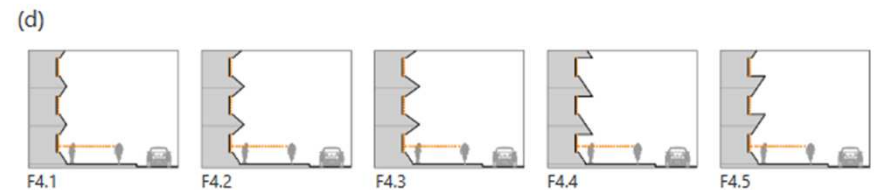
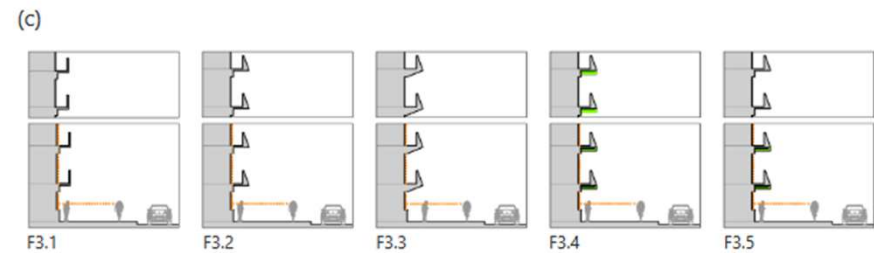
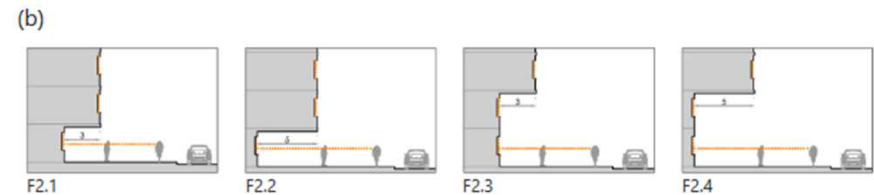


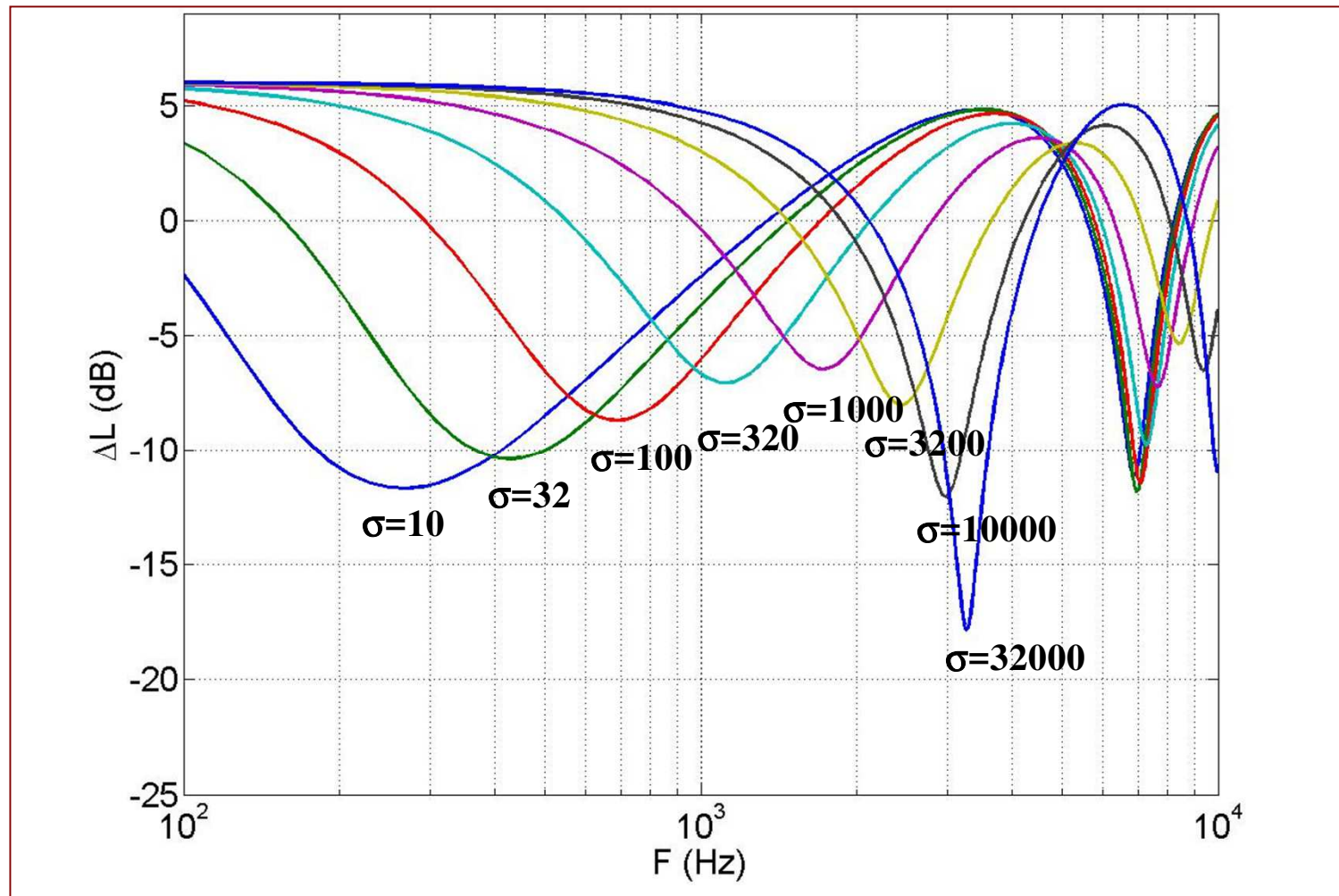
Figure 2 - Studied cases: General Building Shapes (a), Setback in lower storeys (b), Balcony geometry (c), Triangular prominences on facade (d), Shielded inclined windows (e), Low barrier shape (f), Absorption on a vertical low barrier (g), Absorption on an inclined low barrier (h), Depressed road (i), Two level street (j).

Classification « normalisée » des sols

Typologie de sol	Résistance spécifique au passage de l'air (en unités cgs ou kNsm^{-4})	Propriétés acoustiques
Neige fraîche	10 à 50	Très absorbant
Sous-bois sec (feuilles, épines)	20 à 100	
Prairie, terre fraîchement labourée	100 à 500	Absorbant
Gazon, terrain de stade	300 à 1000	
Terre compactée, terre roulée et déchaumée	1 000 à 5 000	
Revêtement routier (hors chaussée poreuse)	50 000 à 100 000	Réfléchissant
Eau, glace, béton lisse et peint	> 100 000	Très réfléchissant

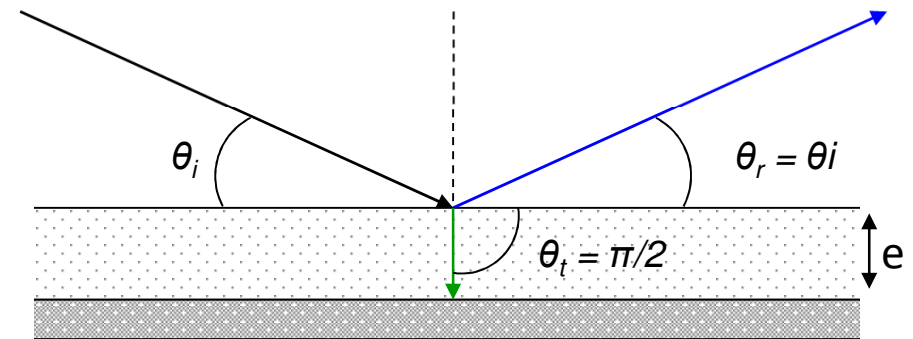
Effet de sol

hs=1.21m
hr=0.31m
d=15.2m



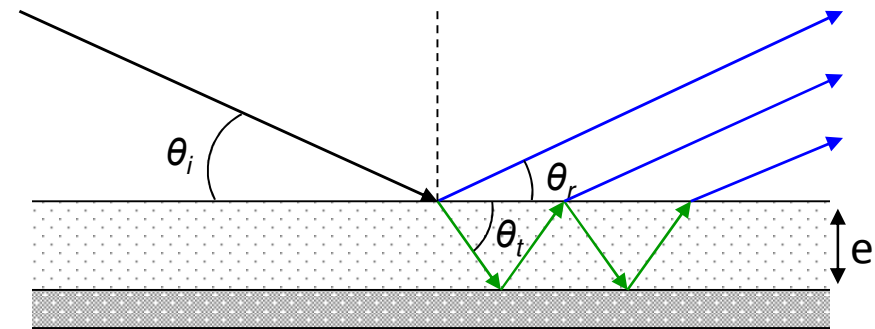
Effet de sol

- Réaction localisée // réaction étendue

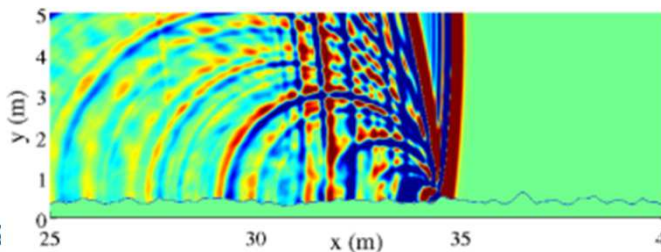
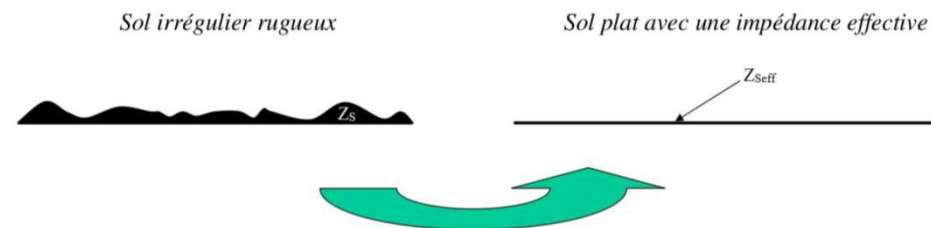


- Effet d'épaisseur (e)

$$Z_{\text{sol}} \gg Z_C = Z_{\text{sol}} \cdot \coth(-j \cdot k \cdot e)$$



- Effet de la rugosité



cf. thèse O. Faure (Ifsttar/EDF R&D, 2011-2014)

Modèles d'impédance de sol

- Surfaces naturelles

- Modèle de Delany & Bazley (1970)
- 1 paramètre : σ (k.N.s.m⁻⁴)
- + effet d'épaisseur e (m)

$$Z = Z_0 \left[1 + 9.08 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.75} + i \cdot 11.9 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.73} \right]$$

$$k = k_0 \left[1 + 10.8 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.70} + i \cdot 10.3 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.59} \right]$$

- Extension

- Modèle de Miki (1990)
- 1 paramètre : σ (k.N.s.m⁻⁴)
- + effet d'épaisseur e (m)

$$Z = Z_0 \left[1 + 5.50 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.632} + i \cdot 8.43 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.632} \right]$$

$$k = k_0 \left[1 + 7.81 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.618} + i \cdot 11.41 \left(\frac{f}{\sigma} \right)^{-0.618} \right]$$

Modèles d'impédance de sol

- Milieux granulaires (poreux) type « chaussée drainante »

- Modèle phénoménologique de Zwicker & Kosten (1949)

- 3 paramètres : σ , Ω , et C_s

$$Z = \sqrt{q_c / \Omega} \quad q_c = \frac{C_s}{\Omega} + i \frac{\sigma}{\rho \omega}$$
$$k = k_0 \sqrt{q_c \Omega}$$

- Modèle phénoménologique de Hamet & Bérengier (1993)

- 3 paramètres : σ , Ω , et K

$$Z = \frac{1}{\Omega} \sqrt{\rho_g(\omega) \cdot K_g(\omega)}$$

$$k = \omega \sqrt{\rho_g(\omega) / K_g(\omega)}$$

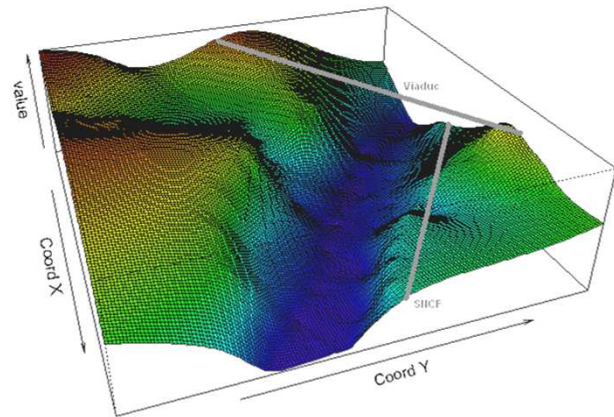
- Modèle microstructurel d'Attenborough (1985 + ...)

- 4 paramètres

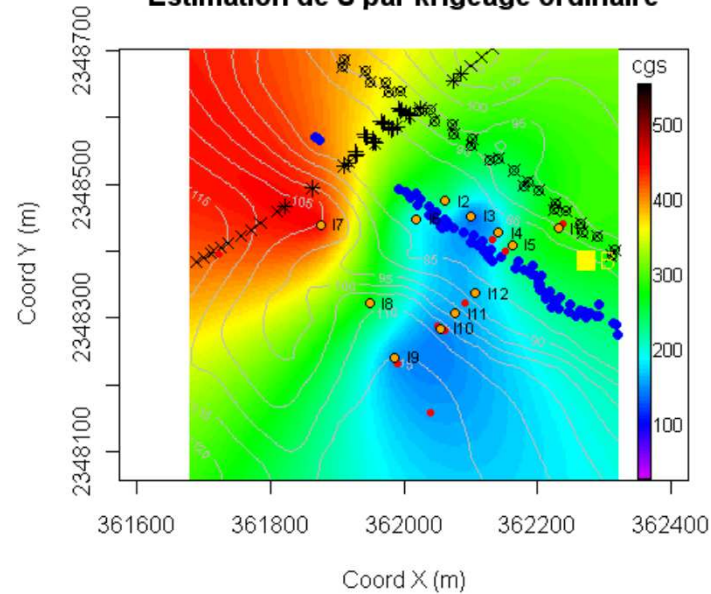
$$Z = \frac{k_0}{k} \left(\frac{4q^2}{3\Omega} + i \frac{s_f^2 \sigma}{\rho \omega} \right)$$

$$k = k_0 \sqrt{\gamma \Omega} \sqrt{\left(\frac{4}{3} - \frac{\gamma - 1}{\gamma} N_{Pr} \right) \frac{q^2}{\Omega} + i \frac{s_f^2 \sigma}{\rho \omega}}$$

Variabilité spatio-temporelle

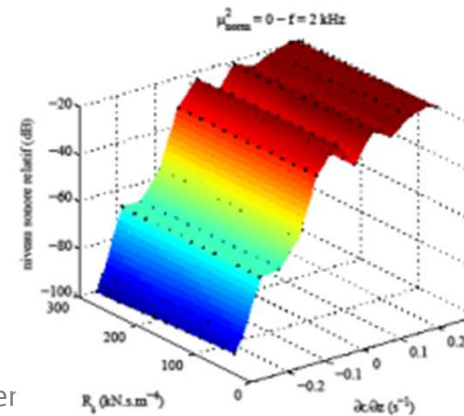


Estimation de S par krigeage ordinaire



cf. thèse O. Baume (2003-2006)

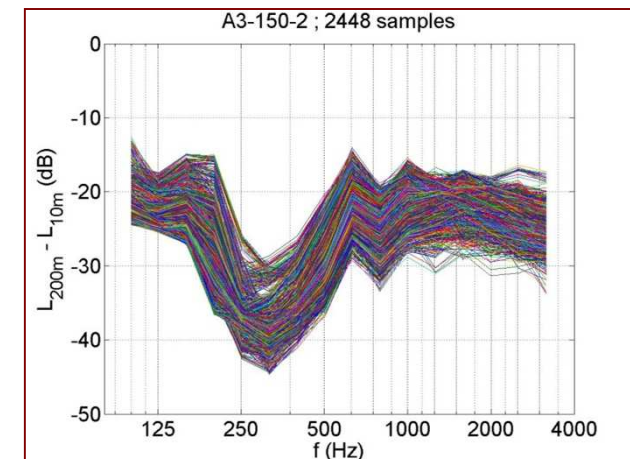
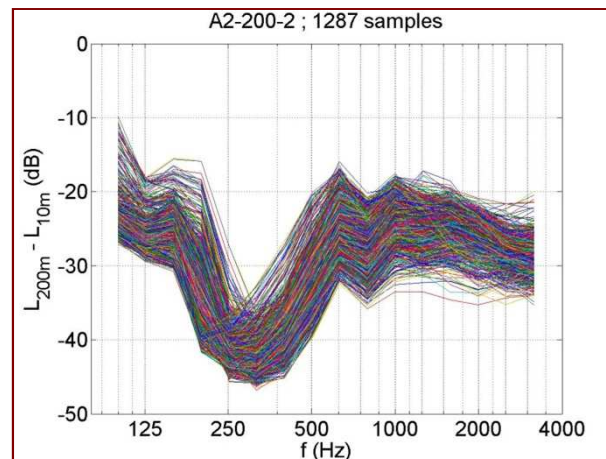
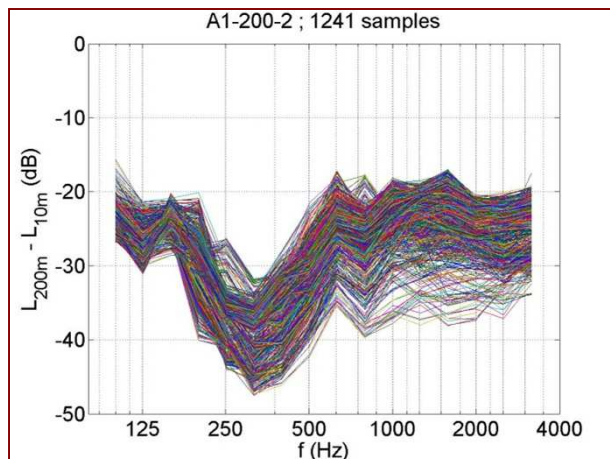
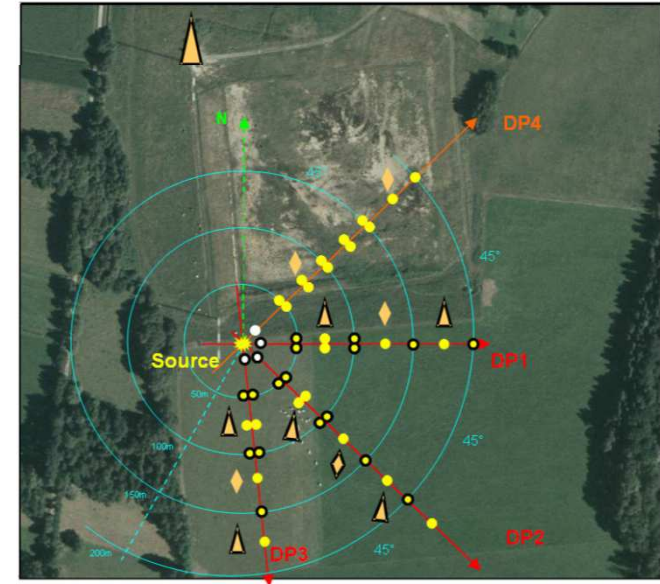
Métamodèle / surface de réponse



cf. thèse O. Leroy (2007-2010)

Variabilité spatio-temporelle

- Campagne expérimentale de Lannemezan_2005
- Partenariat scientifique LCPC/EDF/ECL/SNCF (2003-2006)
- Influence *relative* des paramètres physiques (sol/vent/temp)
- Etudes numériques (PE)
- Campagne expérimentale sur le site de Lannemezan (F-65)
 - source ponctuelle – spectre et amplitude maîtrisés
 - campagne longue (4mois) + campagne courte (3 semaines)
 - échantillonnages temporel et spatial “fins”
 - “monitoring” (acoustique, micrométéo, impédance)
 - environ 60 capteurs acoustiques et 70 capteurs météo (!)



Variabilité spatio-temporelle

- Variabilité spatio-temporelle de σ et e

- Campagnes expérimentales : Ifsttar (2013-2014)
- Traitement et analyse : thèse O. Faure (2011-2014)



(a) Synthetic lawn



(b) Grass lawn



(c) Natural ground



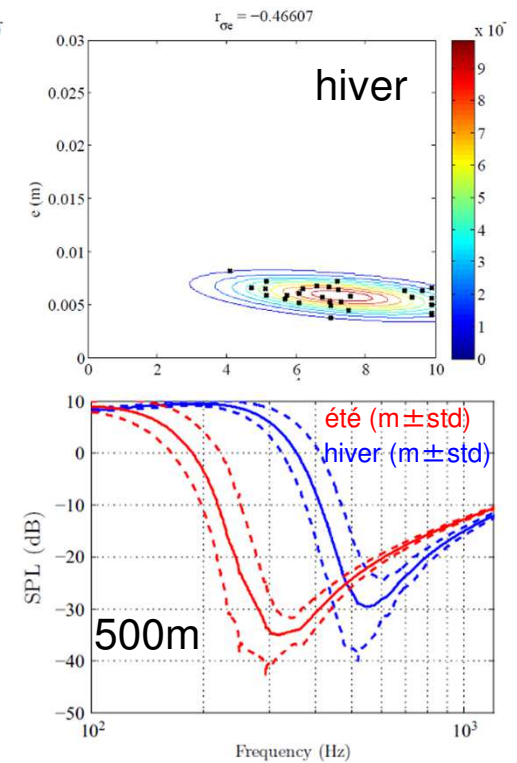
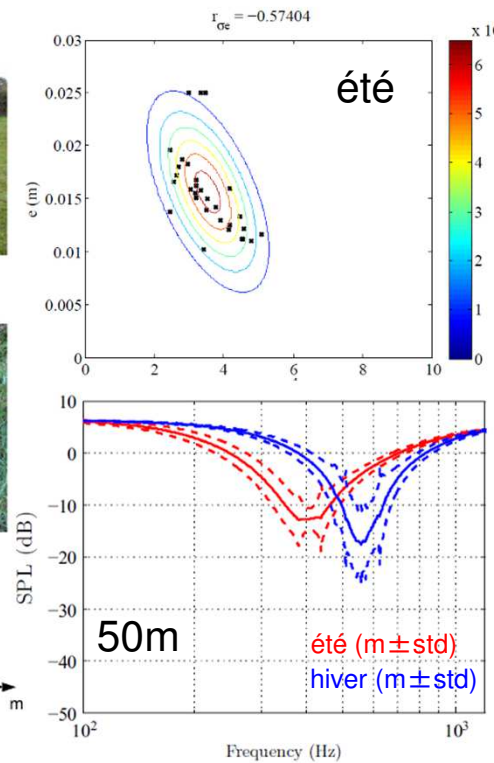
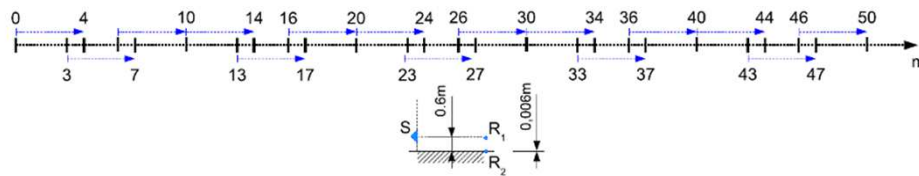
(d) Synthetic lawn



(e) Grass lawn



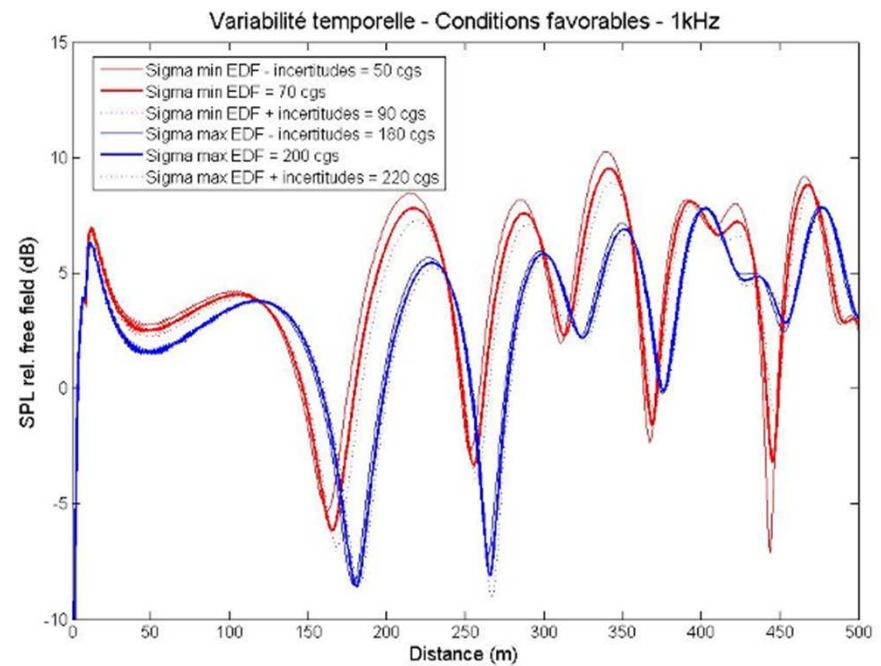
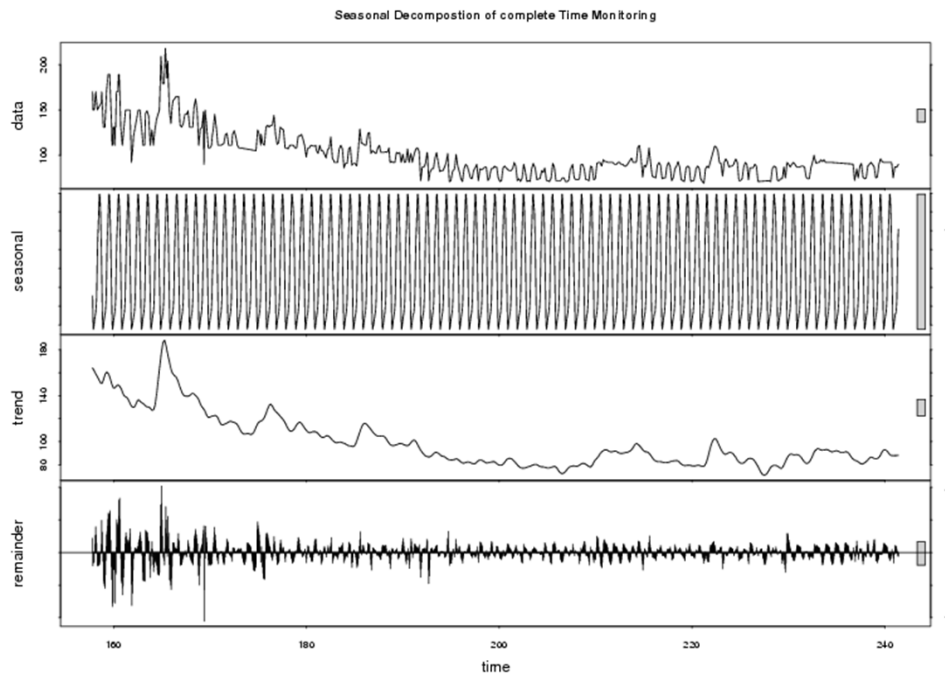
(f) Natural ground



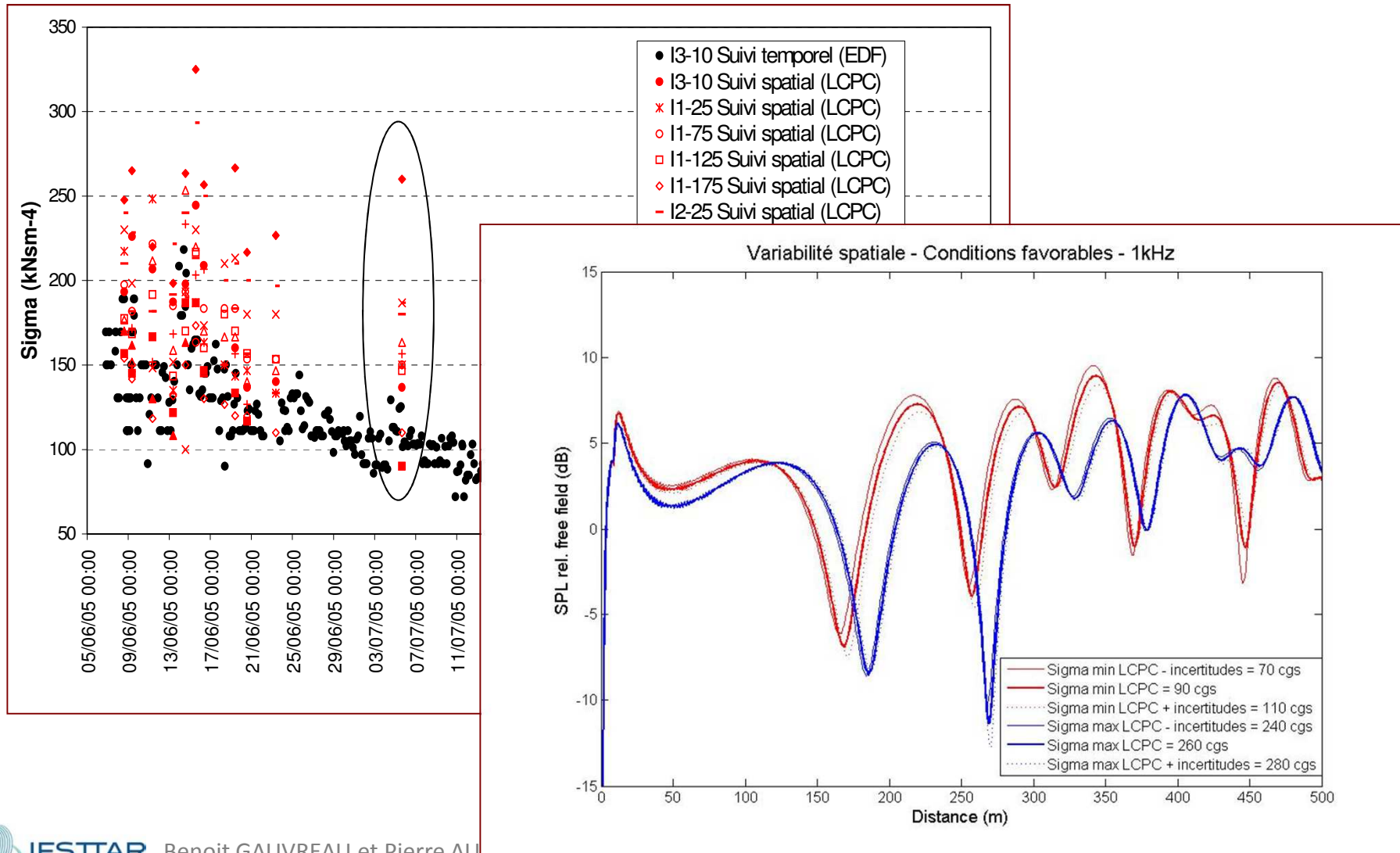
Variabilité temporelle de l'impédance

- Variabilité temporelle de σ (3 mois)

- Campagne expérimentale : Lannemezan_2005 (EDF R&D, Ifsttar, SNCF, ECL)
- Traitement et analyse : thèse O. Baume (2003-2006) – Calcul PE



Variabilité spatiale de l'impédance

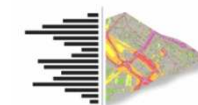
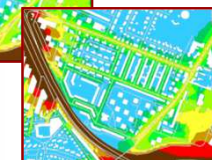
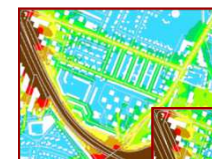
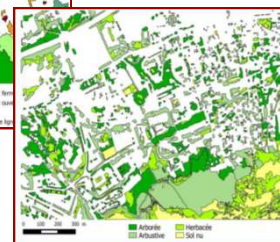
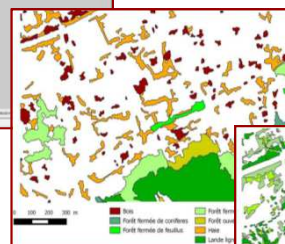
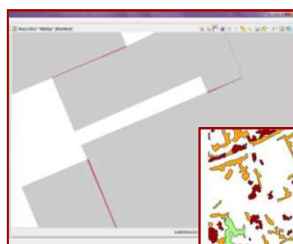
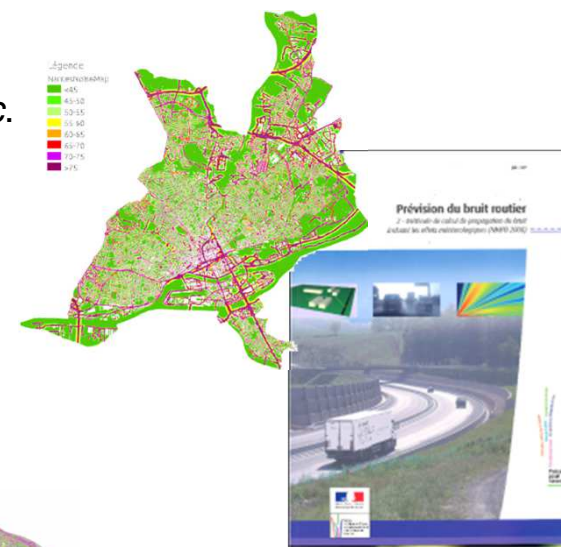
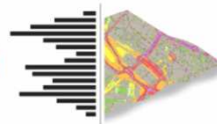


Application à la modélisation (ing.)

● Modèles simplifiés utilisés dans le domaine de l'ingénierie

- Rapidité de calcul >> grande échelle
- Noyaux de calcul : NMPB2008, ISO 9613, Nord 2000, CNOSSOS, etc.
- Approximations fortes, e.g. topographie >> plan moyen
- Hypothèses supplémentaires (e.g. pour effets de sol)
- Prise en compte partielle des phénomènes physiques
- Lissage spectral (1/3 octave, 1/1 octave, global A)
- Ergonomie et interface logiciel (produits commerciaux)
- Nouveaux outils logiciels libres :

- Code_tympan (EDF R&D)
- I-simpa (Ifsttar)
- NoiseMap/OrbisGis (IRSTV/ifsttar)



<http://noisemap.orbisgis.org>

Application à la modélisation (ref.)

VegDUD

Agence Nationale de la Recherche
ANR ANR Villes durables 2009



Application à la modélisation (ref.)

VegDUD

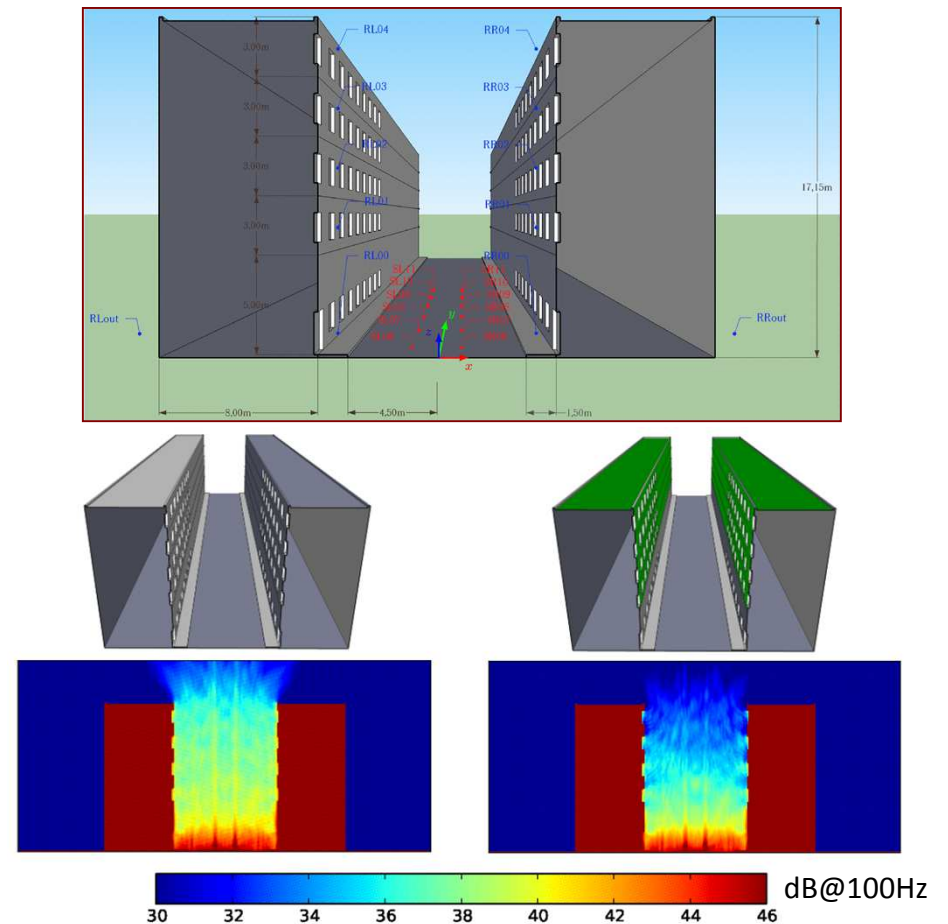
● Expérimental

- mesures *in-situ* des propriétés d'absorption acoustique (impédance) des surfaces végétalisées (toits et façades)



● Numérique

- études qualitatives et quantitatives sur différents indicateurs et en différents points (post-doc G. Guillaume #2, 2011-2012)

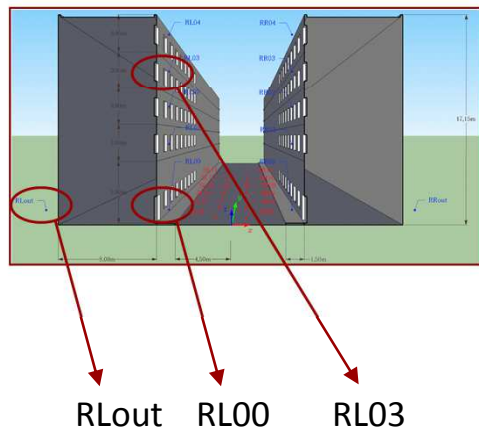
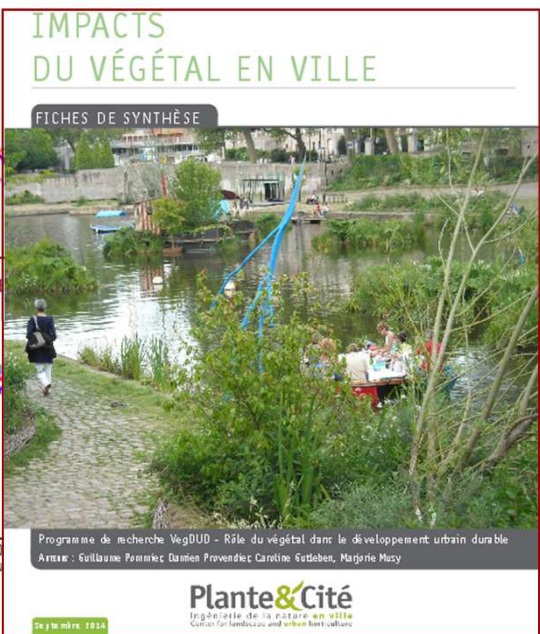
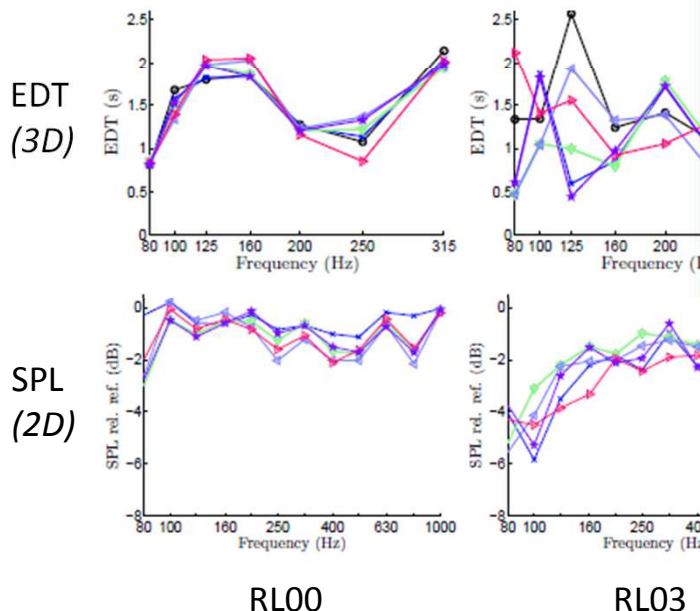


[Guillaume et al. JSTE 2014] [Guillaume et al. QAE Ed. 2014] [Guillaume et al. App. Acoust. 2015]

Benoit GAUVREAU et Pierre AUMOND (AME/LAE) – Atelier TEMU (Toulouse) – 16 janvier 2017

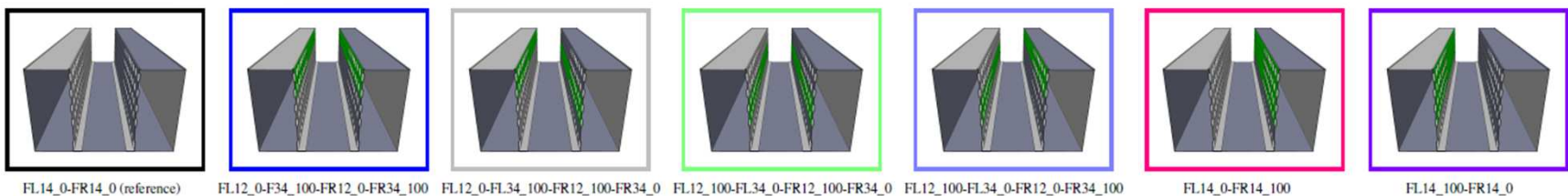
Application à la modélisation (ref.)

VegDUD



> cf. QAE Editions

<http://www.plante-et-cite.fr>



● Synthèse et perspectives

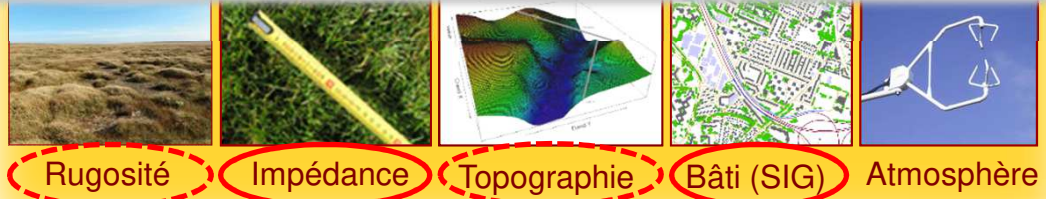
- dispersion des propriétés d'absorption acoustique des différents types de surfaces végétalisées (toits et façades)
- nécessité de considérer d'autres indicateurs acoustiques (e.g. EDT 1/3 oct.)... et d'autres critères environnementaux !
- valorisation pluridisciplinaire : fiches pratiques (thermique, climatique, hydrique, acoustique) pour les aménageurs
- perspectives : multi-sources sonores, typologies de surfaces végétalisées, micrométéo urbaine, effets 3D, etc.
- BdDs : Corine Land Cover, Urban Atlas... >> réflexion en cours avec le CEREMA pour harmoniser la classification
- Nouveau projet « Nature 4 Cities » (EU-H2020, 2016-2020, incluant économie, urbanisme, etc.)... à suivre !

En bref !

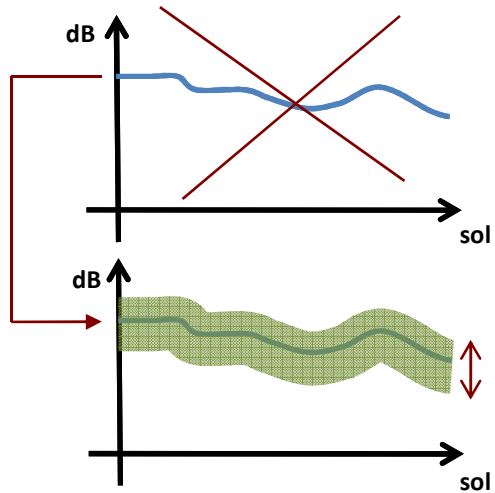
Input data : incertitudes épistémiques et aléatoires



propagation



TEMU_2017



- dispersion (EXP et NUM) des valeurs d'indicateurs
- notions d'incertitudes et de risque (« cindynique », origine Sorbonne 1987), *e.g. via* PDF
- transfert vers la normalisation ET la réglementation...

modèle de propagation : hypothèses, approximations, schéma numérique



output data : incertitudes sur indicateurs... et sur décisions !

réception perception 🧑🧑

Merci de votre attention

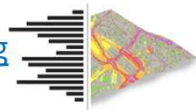
Webographie

OrbisGIS : <http://www.orbisgis.org>

NoiseM@p : <http://www.noisemap.orbisgis.org>

LTMS : <http://ltms2002-2007.ifsttar.fr/>

SFA_GABE : <http://sfa.asso.fr/fr/activites-gssr/le-groupe--acoustique-du-batiment-et-de-l-environnement-gabe>



Bibliographie

- > K. Attenborough, K. M. Li, K. Horoshenkov, *Predicting outdoor sound*, Taylor & Francis Editions, (2007)
- > O. Baume, B. Gauvreau, M. Bérengier, F. Junker, H. Wackernagel, J.P. Chilès, (2009), "Geostatistical modeling of sound propagation: principles and a field application experiment", *J. Acoust. Soc. Amer.*, Vol. 126(6), pp 2894–2904
- > G. Guillaume, J. Picaut, G. Dutilleux, B. Gauvreau, (2011), "Time-domain impedance formulation for transmission line matrix modelling of outdoor sound propagation", *Journal of Sound and Vib.* 330(26), 6467-6481
- > G. Guillaume., P. Aumond, B. Gauvreau, G. Dutilleux, (2014), "Application of the Transmission Line Matrix method for outdoor sound propagation modelling - Part 1: Model presentation and evaluation". *Applied Acoustics*, Vol. 76, pp 113-118
- > G. Guillaume, B. Gauvreau, Ph. L’Hermite, (2014), "Numerical study of the impact of vegetation coverings on sound levels and time decays in a canyon street model", *J. Science of the Total Environment*, Vol. 502(1), pp 22-30
- > G. Guillaume, O. Faure, B. Gauvreau, F. Junker, M. Bérengier, Ph. L’Hermite, (2015), "Estimation of impedance model input parameters from in situ measurements: principles and applications", *Applied Acoustics*, Vol. 95, pp 27-36
- > O. Faure, B. Gauvreau, F. Junker, P. Lafon, C. Bourlier, (2017), "Modelling of random ground roughness by an effective impedance and application to time-domain methods", *Applied Acoustics* (in press)