Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Est

Optimisation acoustique des bétons végétaux Application aux écrans antibruit

Philippe Glé[1], Patrick Demizieux[1], Emmanuel Gourdon[2], Yannick Debrabant[2]

[1] Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg

[2] ENTPE LGCB, LTDS

GdR META – Paris – 22 Janvier 2016

Cerema?

- Un Établissement Public Administratif

Nos champs d'action

- aménagement et développement des territoires, égalité des territoires
- villes et stratégies urbaines
- transition énergétique et changement climatique
- gestion des ressources naturelles et respect de l'environnement
- prévention des risques
- bien-être et réduction des nuisances
- mobilité et transport
- gestion, optimisation, modernisation et conception des infrastructures
- habitat et bâtiment

Nos partenariats

- relations privilégiées avec les services de l'État
- relations renforcées avec les collectivités territoriales
- partenariats avec d'autres établissements publics
- accompagnement des acteurs privés

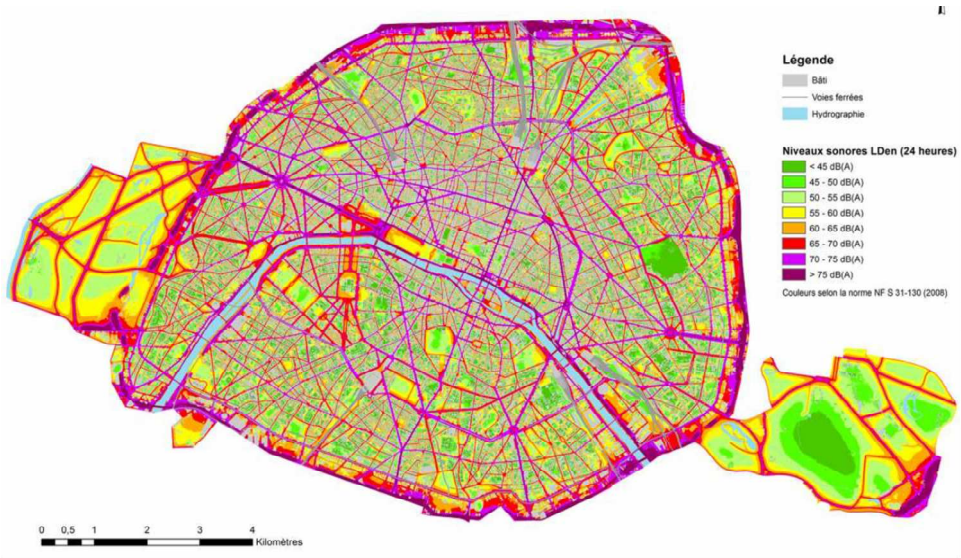
- Équipe Acoustique de Strasbourg
  - → Chaussées
  - → Propagation et effets météo
  - → Bâtiment
  - → Écrans
  - → Matériaux biosourcés
  - → Bioacoustique

Un besoin de dispositifs antibruit…

- La circulation des véhicules parmi les 2 sources jugées les plus gênantes pour 67% de la population [IFOP, 2014].

- Paris: 231 088 personnes (11%) résident dans un environnement sonore «bruyant» à cause du trafic routier (LDEN > 68 dBA) [PPBE Paris, 2015].

- Les écrans souvent privilégiés devant ou en accompagnement d'autres solutions:
  - → Couverture de voies
  - → Enrobés phoniques
  - → Isolation de façade



…d'impact écologique limité!

- Des enjeux environnementaux ciblés
  - Réduction des émissions de CO2,
  - Réduction de l'énergie grise des matériaux…

- Des mesures qui se mettent en place
  - Grenelle de l'Environnement (2007)
  - Loi de la Transition Energétique pour la Croissance Verte (2015)
    - Article 14 VI : « *L'utilisation des matériaux biosourcés concourt significativement au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles* »
    - Article 144 : « *La commande publique tient compte notamment de la performance environnementale des produits, en particulier de leur caractère biosourcé* »

Les « bétons végétaux », des matériaux alternatifs pour les écrans

- Une matière première d'origine végétale

Bois

Chanvre

Lin

Colza

Tournesol

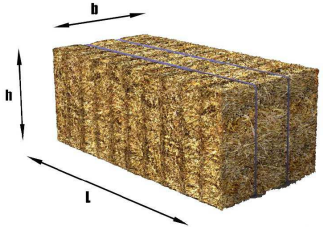
→ Mais aussi: Bambou, Myscanthus, Typha , Paille, ...

- Différents modes de tenue

Chaux/ciment

Terre

Extractibles

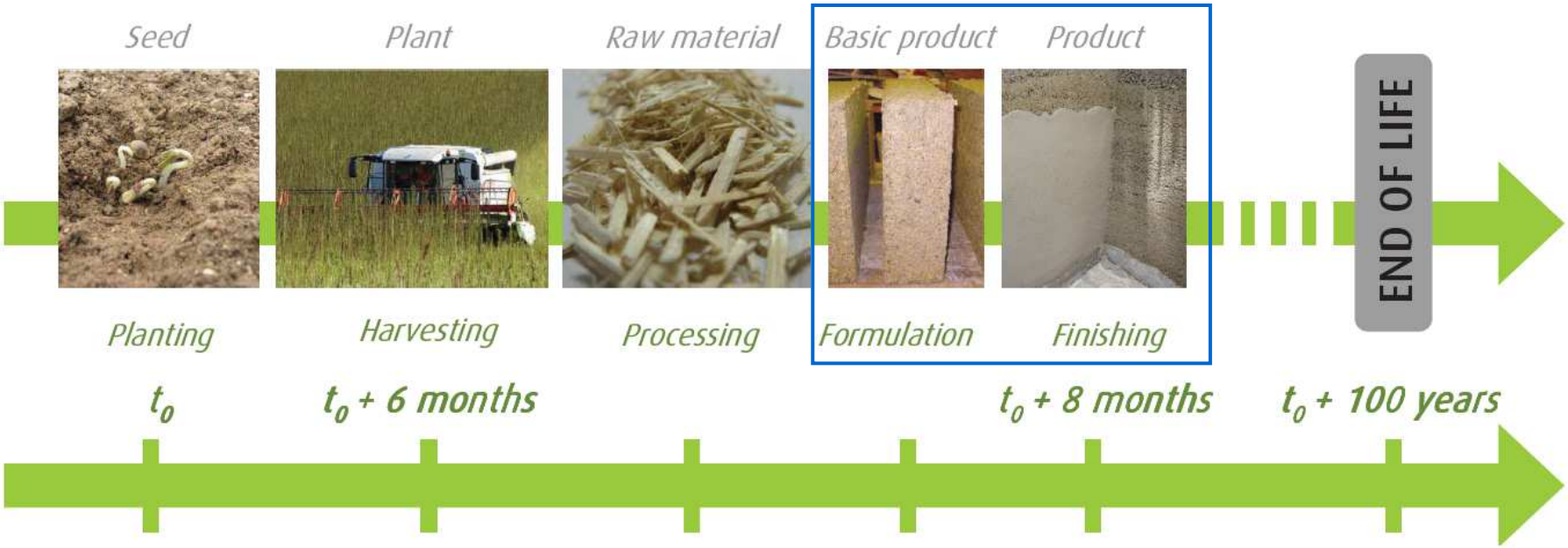


Tissage

Vrac

Les « bétons végétaux », quel état des connaissances

- Champ des problématiques de la culture à la fin de vie des matériaux



- Focus sur l'optimisation des performances acoustiques

Plan de la présentation

- Contexte

- Comportement acoustique des bétons végétaux
  - Spécificités
  - Modélisation

- Quelles techniques d'optimisation pour les bétons végétaux?
  - Optimisation de la formulation
  - Structuration multicouche
  - Géométrie de surface
  - Vers des métamatériaux biosourcés?

- Conclusions et Perspectives

Plan de la présentation

- Contexte

- Comportement acoustique des bétons végétaux
  - Spécificités
  - Modélisation

- Quelles techniques d'optimisation pour les bétons végétaux?
  - Optimisation de la formulation
  - Structuration multicouche
  - Géométrie de surface
  - Vers des métamatériaux biosourcés?

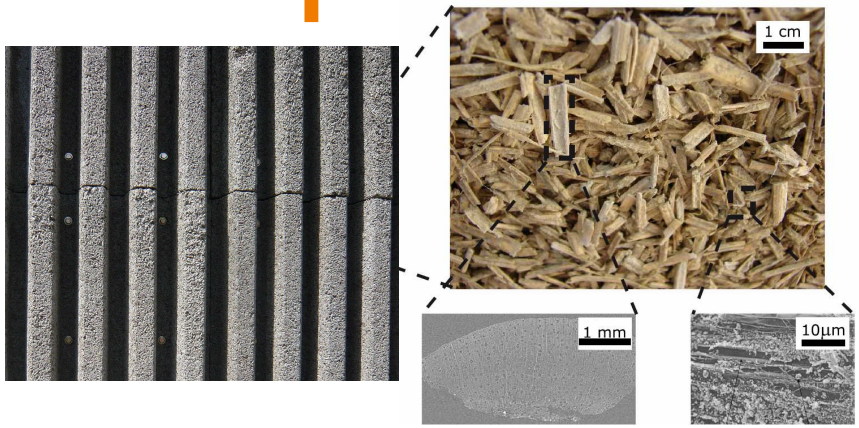
- Conclusions et Perspectives

Comportement acoustique

Spécificités

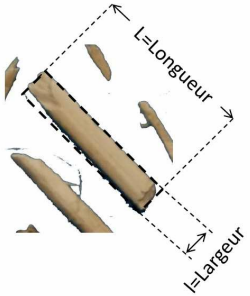
- Microstructure

→ Approche multi-échelle



- Formes des granulats

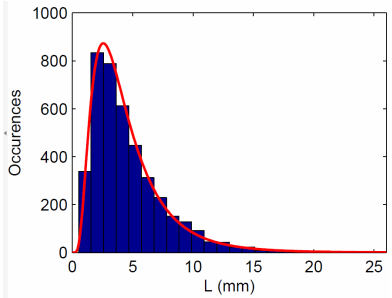
→ Anisotropie matériau



L	*l*	*e*
1 cm	*5 mm*	*1 mm*

- Granulométrie étendue

→ Distribution taille pores étendue



Comportement acoustique

Modélisation

- Hyp. squelette rigide (f_{dec} < 20 Hz)
- Approche du comportement en double porosité [Olny & Boutin, 2003]
  → Domaine visqueux dans pores intraparticules
  → Cas de double porosité avec fort contraste de perméabilité (Fd≈0)

$$\rho = \left[\frac{1}{\rho_{inter}} + (1-\phi_{inter})\frac{1}{\rho_{intra}}\right]^{-1} \approx \rho_{inter}$$

$$K = \left[\frac{1}{K_{inter}} + (1-\phi_{inter})\frac{F_d(\omega)}{K_{intra}}\right]^{-1} \approx K_{inter}$$

$$\longrightarrow \quad k = \omega\sqrt{\frac{\rho}{K}} \qquad Zc = \omega\sqrt{\rho K} \quad \longrightarrow \quad \alpha$$

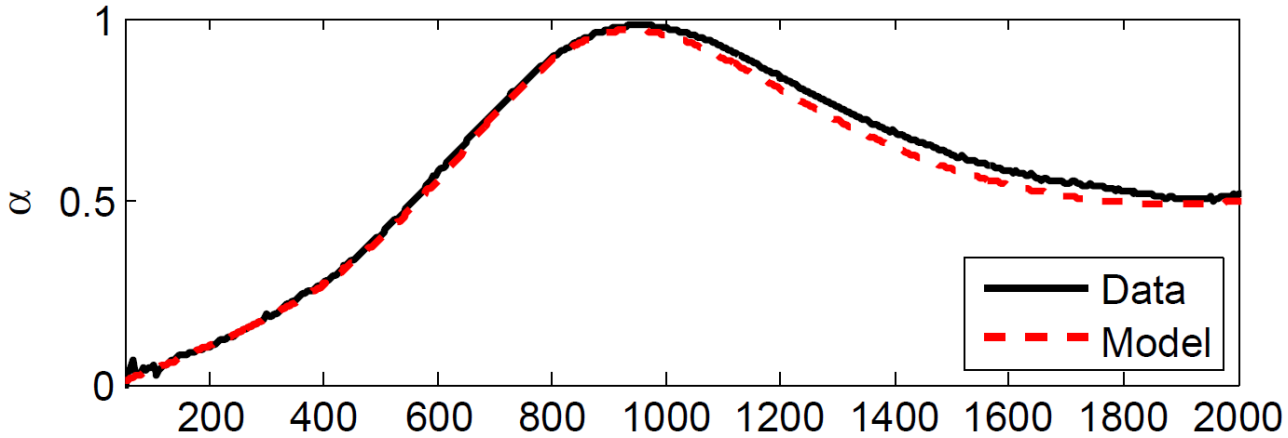
- Modèles utilisés et paramètres clés
  - Effets visco-inertiels: [Johnson *et al.*, 1987]
  - Effets thermiques: [Zwikker & Kosten, 1949]

$\left.\right\}$ ϕ_{inter}, σ, α_∞, Λ

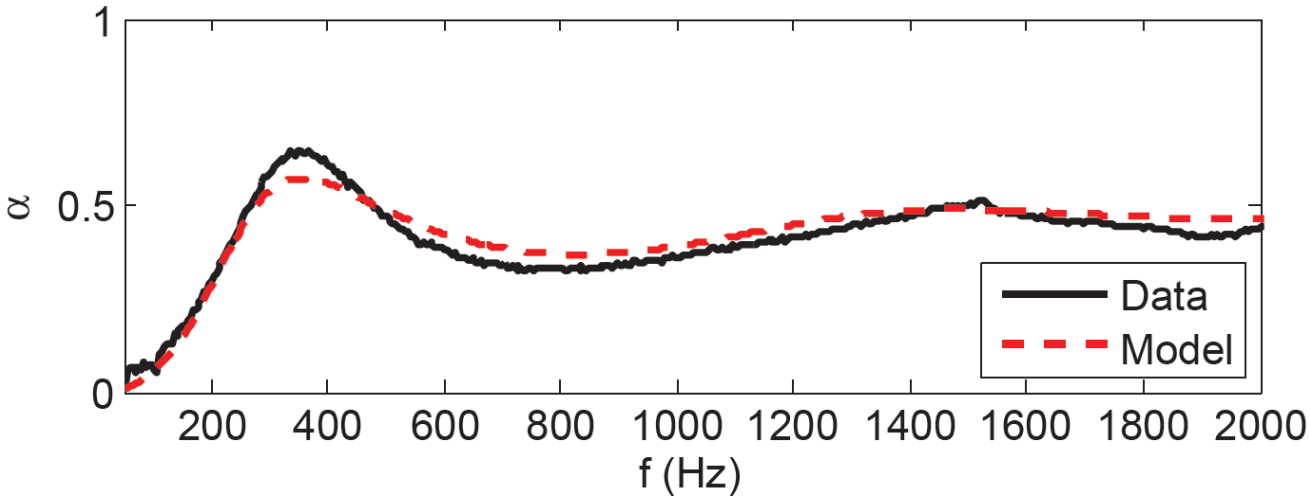
Comportement acoustique

Modélisation

- Dosage liant = 0.5



- Dosage liant = 2



Plan de la présentation

- Contexte
- Comportement acoustique des bétons végétaux
  - Spécificités
  - Modélisation
- Quelles techniques d'optimisation pour les bétons végétaux?
  - Optimisation de la formulation
  - Structuration multicouche
  - Géométrie de surface
  - Vers des métamatériaux biosourcés?
- Conclusions et Perspectives

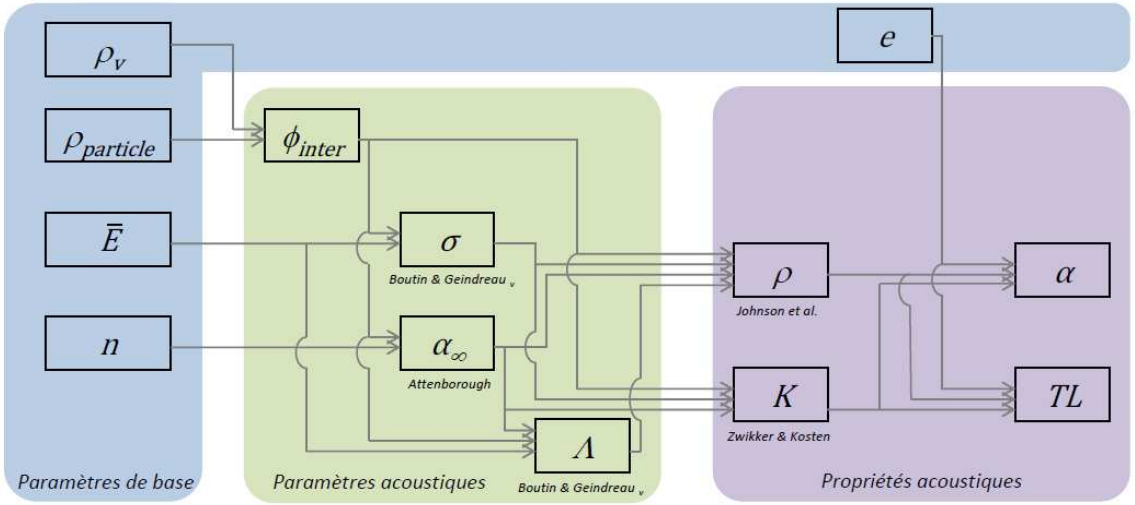
Quelles techniques d'optimisation?

Formulation matériau

- Choix des matières premières
  - Granulométrie chènevotte
  - Type de liant
- Choix de la mise en œuvre
  - Compacité
  - Dosage en liant

Paramètres	Gamme [min ; max]	Unité
$C_{chanvre}$	[100 ; 150]	$kg.m^{-3}$
$\rho_{particule}$	[400 ; 600]	$kg.m^{-3}$
$\bar{E}$	[0,2 ; 0,5]	mm
n	[2 ; 3]	
C_{liant}	[0 ; 900]	$kg.m^{-3}$
$\rho_{apparent\ liant}$	[1000 ; 2000]	$kg.m^{-3}$

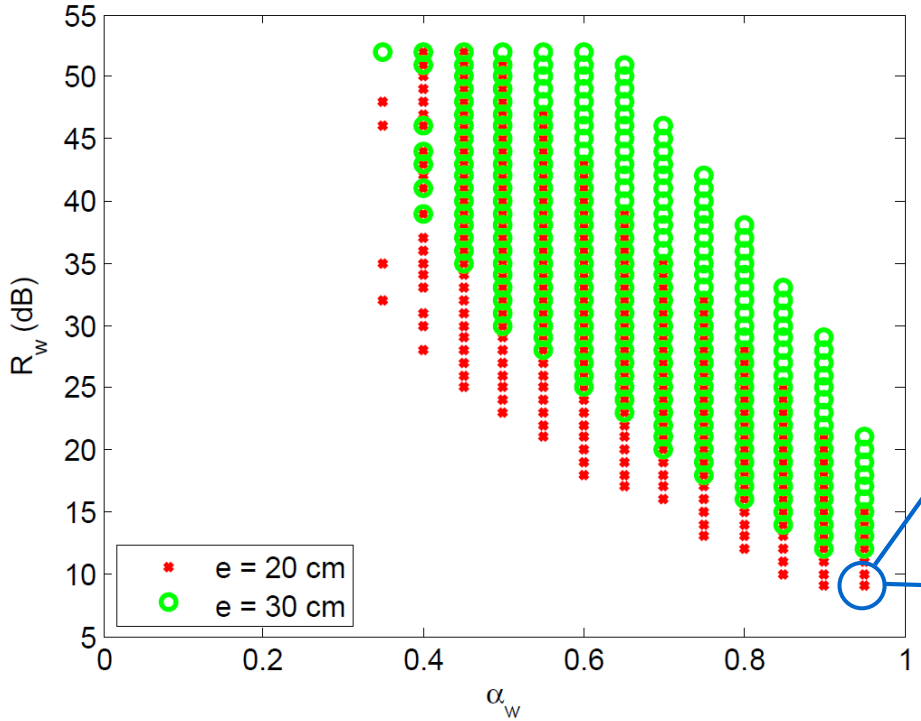
→ Conception de matériau sur mesure

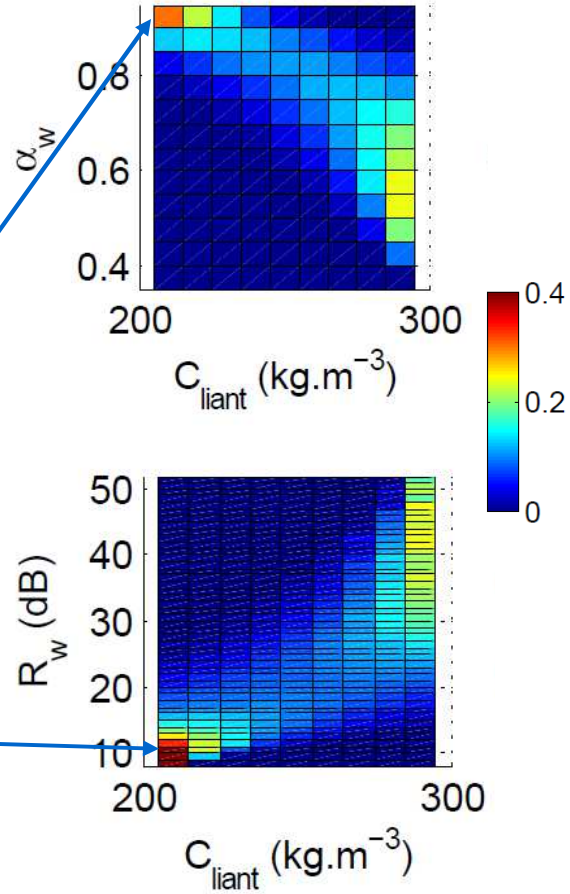


Quelles techniques d'optimisation?

Formulation matériau

- Gamme de performances et jeux de paramètres associés

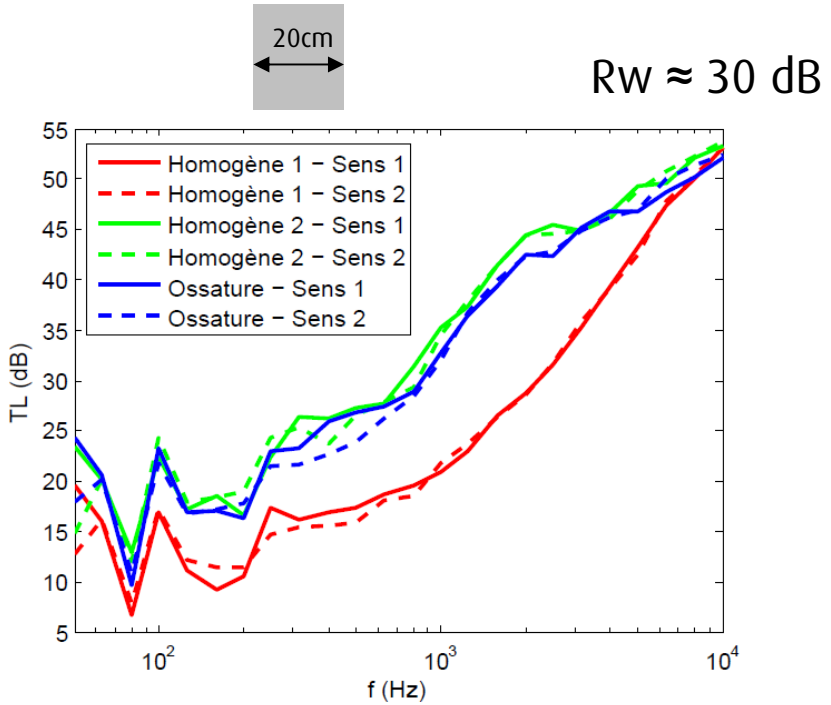


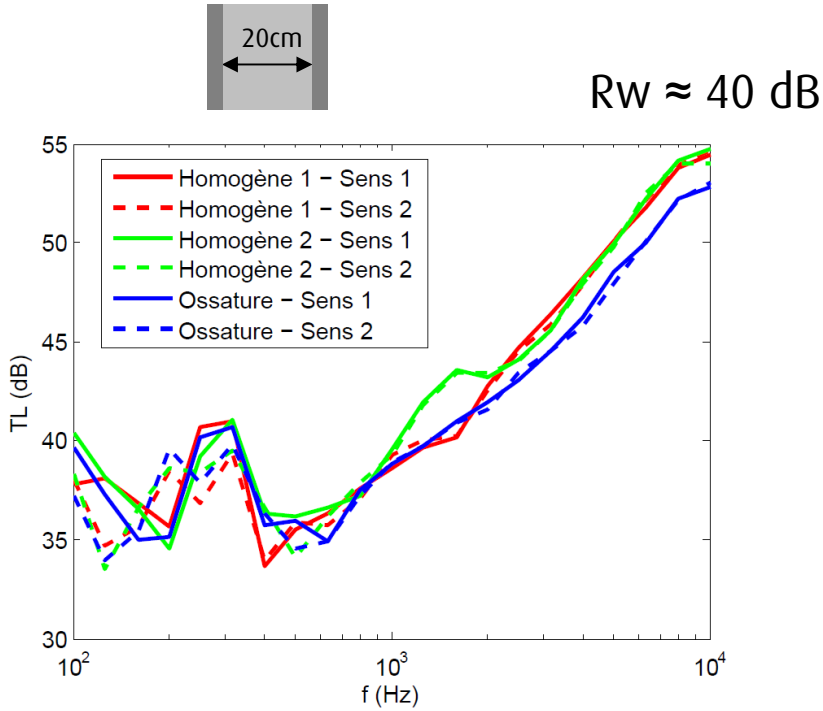


Quelles techniques d'optimisation?

Structuration multicouche

- Ajout d'enduits: [Bütschi *et al.*, 2004], [Glé, 2013]

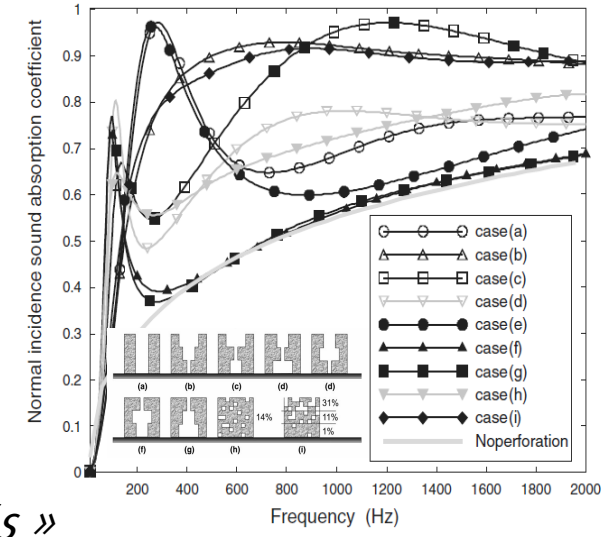




→ Possibilité de mettre en œuvre un gradient de propriétés [De Ryck *et al.*, 2008]

Quelles techniques d'optimisation?

Géométrie de surface



- Perforations: [Olny & Boutin, 2003], [Sgard *et al.*, 2005]

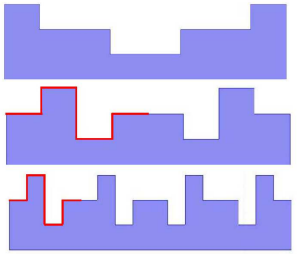
« Diffusion de pression des mesopores vers les micropores »

- Localisation: [Sapoval *et al.*, 1997], [Félix *et al.*, 2007]

« Localisation de modes acoustiques au niveau des irrégularités »

→ Application au béton de bois: [Colas, 2004]

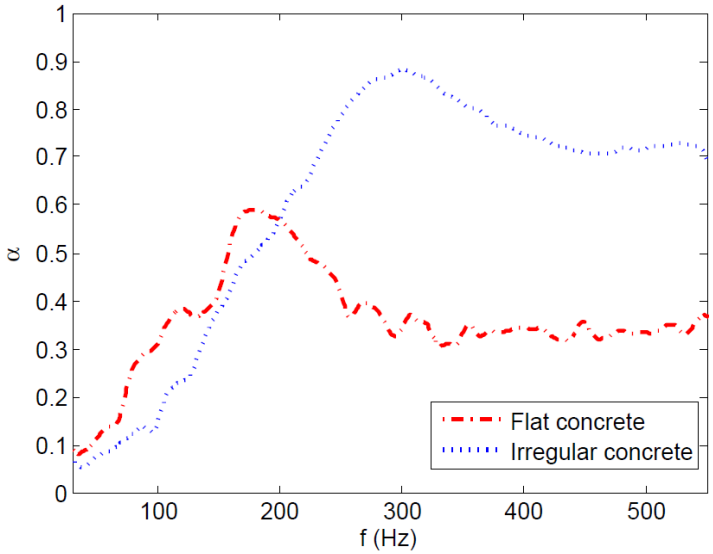
→ Application au béton de chanvre: [Debrabant, 2010]



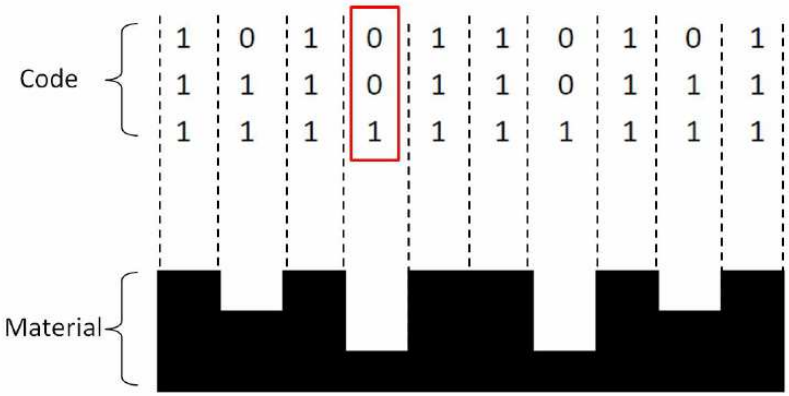
Quelles techniques d'optimisation?

Géométrie de surface

- Bétons de chanvre irréguliers [Debrabant, 2010]
  → Test de formes arbitraires



→ Recherche d'optimaux par algo. génétiques
- Incidence normale
- max($\int_{50Hz}^{550Hz} \alpha(f)df$)
- Contraintes:
  - Symétrie axiale
  - Forme créneaux, ou libre

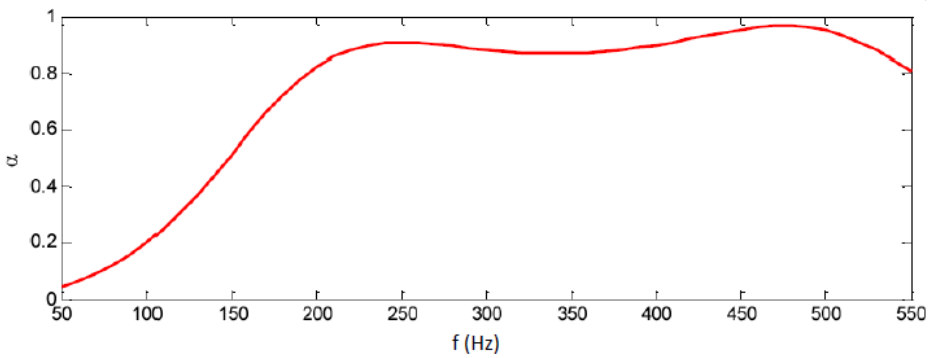


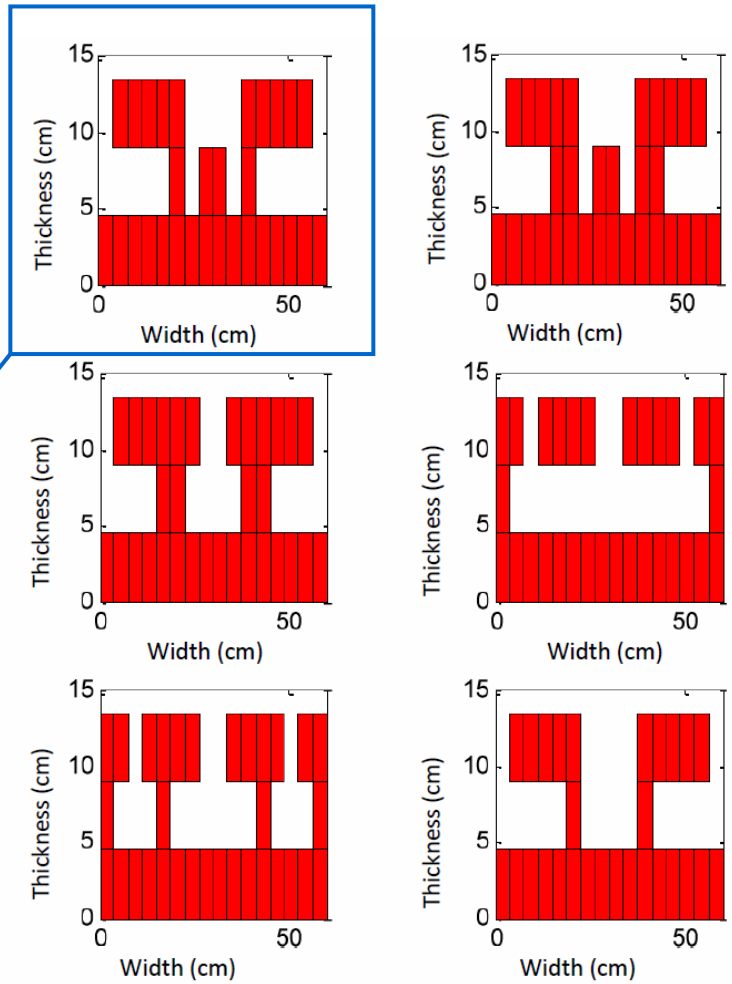
Quelles techniques d'optimisation?

Géométrie de surface

⟶ Géométries optimales

- Apparition de résonateurs
- Plage d'absorption BF très performante

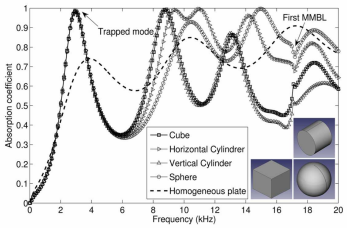


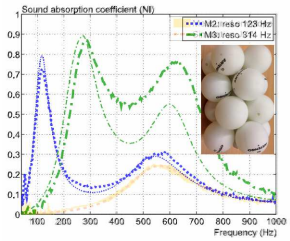


Quelles techniques d'optimisation?

Vers des métamatériaux biosourcés?

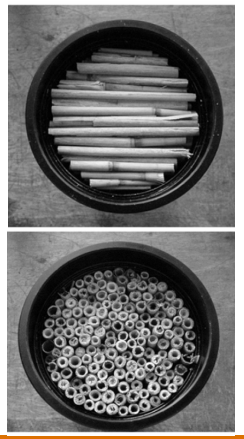
- Potentiel gain de performance (absorption, affaiblissement) par ajout d'inclusions solides ou résonantes
[Groby et al., 2013]
[Boutin et Bécot, 2014]





- Les « bétons végétaux », des matériaux hôtes pertinents (fabrication, propriétés)

- Des métamatériaux / des cristaux phononiques naturels?
Bambou: [Lagarigue, 2013]
Roseaux: [Oldham et al., 2011]



- La souplesse d'un domaine en pleine évolution

Plan de la présentation

- Contexte
- Comportement acoustique des bétons végétaux
  - Spécificités
  - Modélisation
- Quelles techniques d'optimisation pour les bétons végétaux?
  - Optimisation de la formulation
  - Structuration multicouche
  - Géométrie de surface
  - Potentiel de métamatériaux biosourcés
- Conclusions et Perspectives

Conclusions & Perspectives

- Conclusions
  - Intérêt d'écrans biosourcés
  - Variété des bétons végétaux disponibles
  - Variété des techniques d'optimisation de leurs performances acoustiques
- Perspectives
  - Métamatériaux biosourcés à inclusions
  - Cristaux phononiques biosourcés

Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Est

Merci de votre attention...

...des questions?

Philippe Glé[1], Patrick Demizieux[1], Emmanuel Gourdon[2], Yannick Debrabant[2]

[1] Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg

[2] ENTPE LGCB, LTDS

philippe.gle@cerema.fr