



JOURNEES
TECHNIQUES
ACOUSTIQUE
ET VIBRATIONS



Mesures des performances acoustiques des écrans

Application à la variabilité d'un écran en béton végétal

Patrick DEMIZIEUX / Philippe GLE
Cerema DTer-Est – LR Strasbourg

1. Mesures des performances acoustiques des écrans
 - Les normes de mesures
 - L'organisation des contrôles sur les écrans
 - La présentation des normes de mesures in situ (1793-5, 1793-6 et 1793-4)
2. Application à la variabilité d'un écran en béton végétal
 - Contexte
 - Variabilité des performances dans le temps – Effet de la teneur en eau du matériau
 - **Suivi de la durabilité des performances in situ**
 - **Etude de l'impact de la teneur en eau**
 - Conclusions et Perspectives

1. Mesures des performances acoustiques des écrans
 - Les normes de mesures
 - L'organisation des contrôles sur les écrans
 - La présentation des normes de mesures in situ (1793-5, 1793-6 et 1793-4)

2. Application à la variabilité d'un écran en béton végétal
 - Contexte

 - Variabilité des performances dans le temps – Effet de la teneur en eau du matériau
 - **Suivi de la durabilité des performances in situ**
 - **Etude de l'impact de la teneur en eau**

 - Conclusions et Perspectives

Mesures des performances acoustiques des écrans

Les normes de mesures

- Normes européennes : NF EN 1793
 - partie 1 : mesure de l'absorption (Jan. 2013) – en labo
 - partie 2 : mesure de la transmission (Jan. 2013) – en labo
 - partie 3 : spectre de référence routier (Nov. 1997) - en révision
 - partie 4 : mesure de la diffraction (Aout 2015) – en extérieur.
 - partie 5 : mesure de la réflexion (Mai 2016) – en extérieur.
 - partie 6 : mesure de la transmission (Jan. 2013) – en extérieur.

Méthodes issues des contrats Adrienne et Quiesst

- Norme française : NFS 31089 (juillet 2013)
 - Réflexion / isolation in situ
 - Réflexion seule depuis version 2013
 - Abandonnée en 2016 (sauf marchés en cours)

Mesures des performances acoustiques des écrans

Pour la qualification : Deux normes selon usage prévu : champ acoustique réverbéré (ex tunnel, couverture,...) ou champ direct

Isolation :

1793-2 ou 1793-6

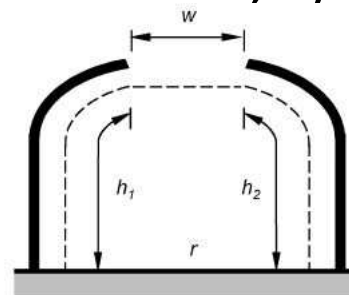
Réflexion / absorption

1793-1 ou 1793-5

Champ diffus si

$$W / e < 0,25$$

Au sens de ces normes



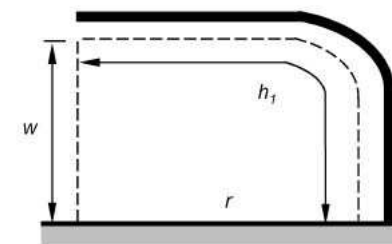
Key

h_1 : length of left barrier surface

h_2 : length of right barrier surface

envelope, $e = w + h_1 + h_2$

(a) Partial cover on both sides of the road

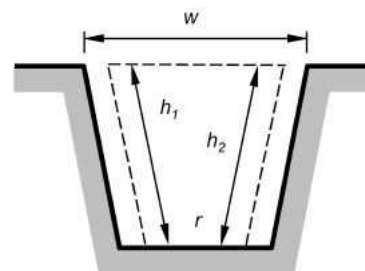


Key

h_1 : length of partial cover surface envelope

$e = w + h_1$

(b) Partial cover on one side of the road



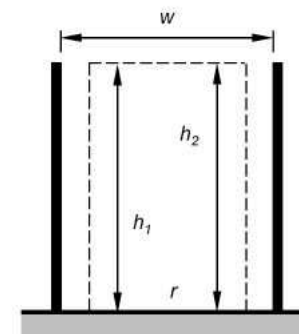
Key

h_1 : length of left trench side

h_2 : length of right trench side

envelope, $e = w + h_1 + h_2$

(c) Deep trench



Key

h_1 : length of left barrier/building

h_2 : length of right barrier/building

envelope, $e = w + h_1 + h_2$

(d) Tall barriers or buildings

Mesures des performances acoustiques des écrans

Organisation des contrôles

- Performances intrinsèques de l'écran - 2 niveaux de contrôle :
 - Mesures de qualifications : (EN 1793-1 et 2 ou EN 1793-5 et 6 selon usage écran (champ réverbéré ou direct)
 - Justification lors de l'appel d'offre
 - Mesures de réception in situ (EN 1793-5 et 6)
 - Éventuellement en début de chantier
 - A la fin des travaux
 - Intérêt de ces mesures
 - Permet de garantir que l'efficacité globale dans le site ne dépend pas du matériau choisi (contrôle des paramètres intrinsèques)
 - Permet de valider le travail du constructeur et de dégager sa responsabilité en cas de non respect des objectifs finaux chez les riverains

Domaine intervention du labo

– Autres mesures performances couronnements (EN 1793-4)

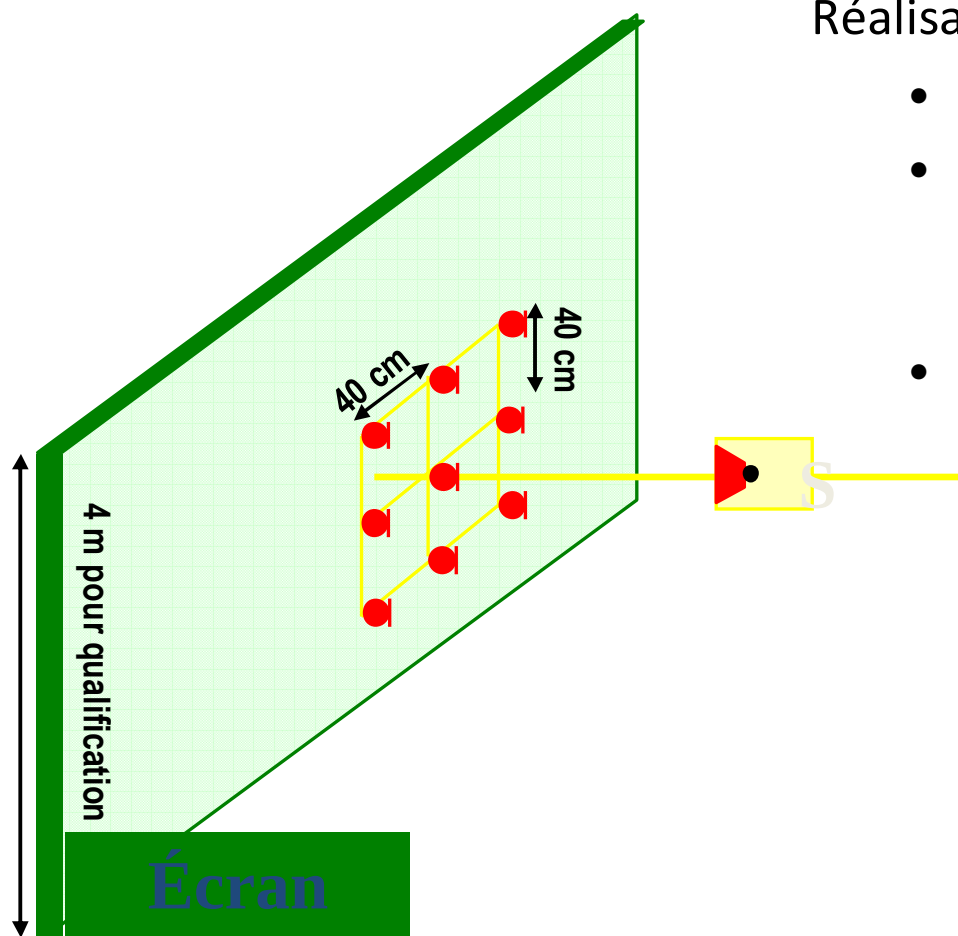
Domaine intervention du labo

Pour mémoire : Performances globales en façade des riverains

- Évaluation par simulation
- Mesures chez les riverains

Mesures des performances acoustiques des écrans

Mesures de réflexion selon EN 1793-5



Réalisation des mesures in situ

- Deux mesures avec et sans écran
- Génération par HP d'un signal permettant le calcul réponses impulsionnelles (MLS, Balayage sinus,...)
- Enregistrement sur grille de 9 micros

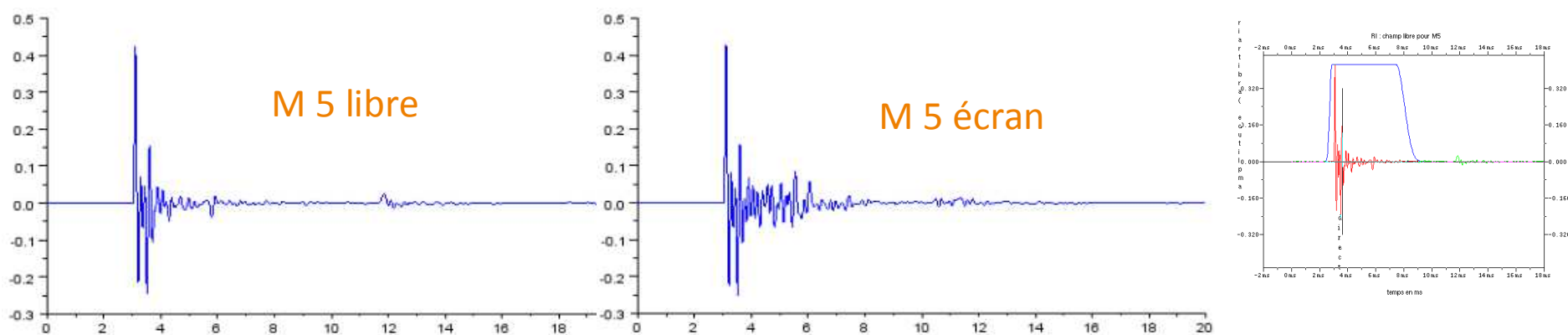
Mesures des performances acoustiques des écrans

Mesures de réflexion selon EN 1793-5



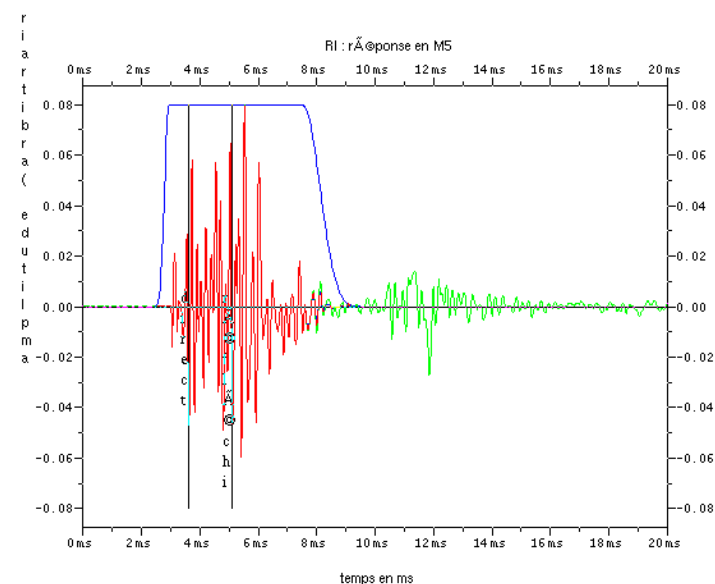
Mesures des performances acoustiques des écrans

Mesures de réflexion selon EN 1793-5



Procédure

- Calculs réponses impulsionnelles sans (libre) et avec écran
- Soustraction du signal incident (après ajustements temporels)
- Filtrage temporelle pour isoler les deux impulsions intéressantes (incident direct et réfléchi)
- Calcul par tiers d'octave indice RI (rapport énergie des deux mesures)
- Calcul d'un indice unique global en dB(A) : DI_{RI}

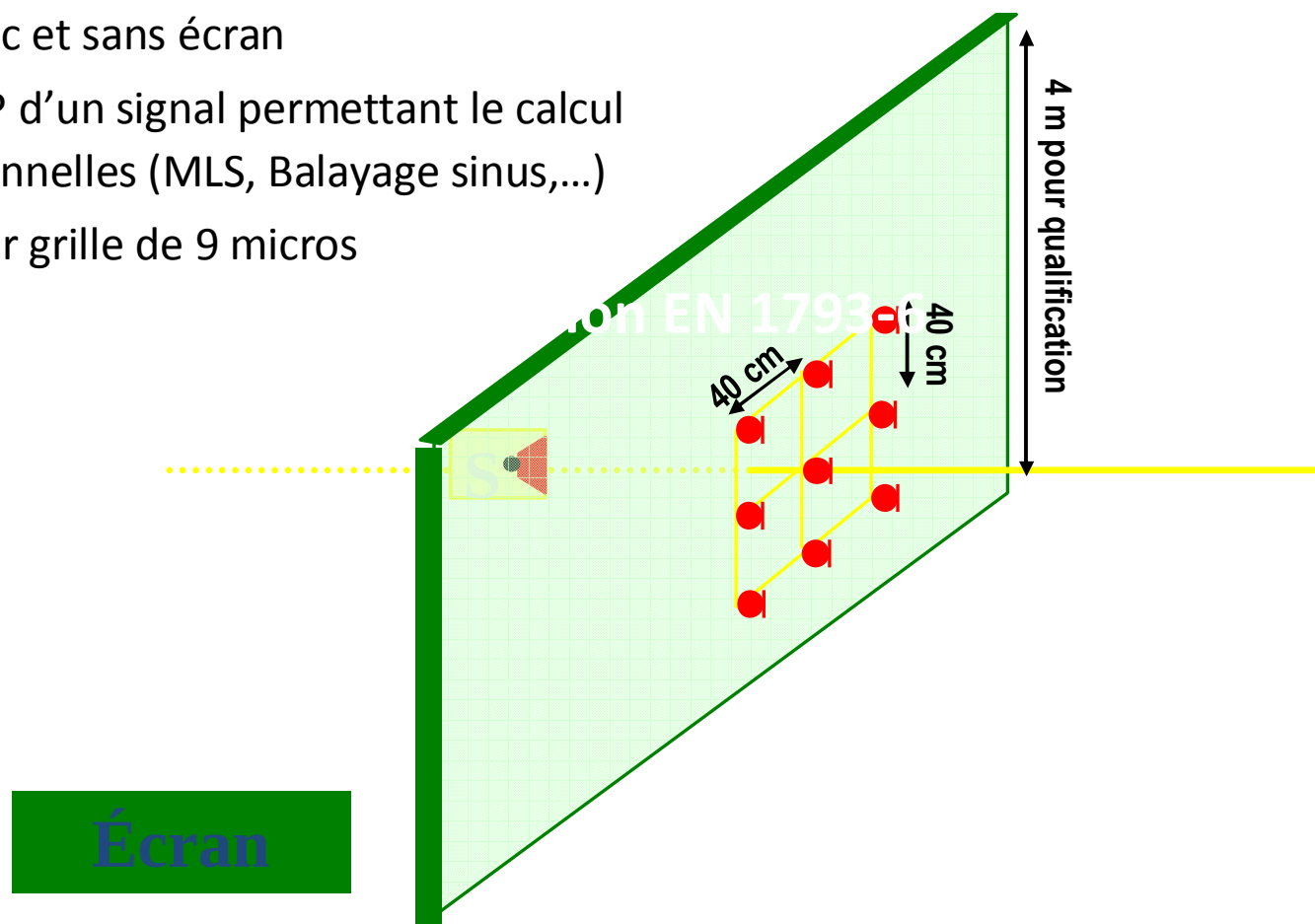


Mesures des performances acoustiques des écrans

Mesures de réflexion selon EN 1793-5

Réalisation des mesures in situ

- Deux mesures avec et sans écran
- Génération par HP d'un signal permettant le calcul réponses impulsionnelles (MLS, Balayage sinus,...)
- Enregistrement sur grille de 9 micros



Mesures des performances acoustiques des écrans

Mesures de réflexion selon EN 1793-5



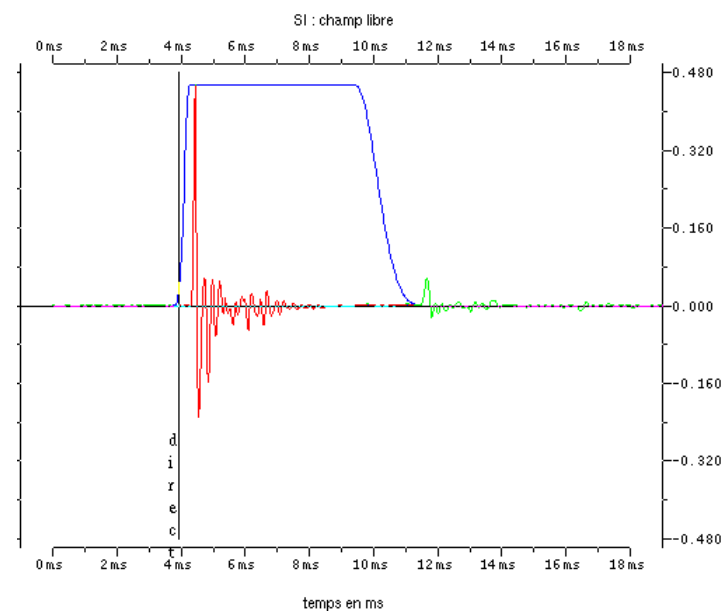
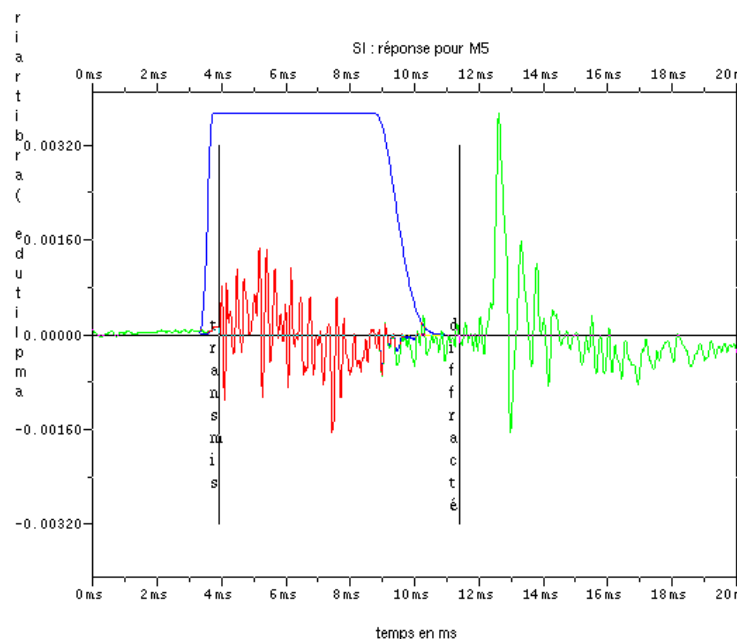
Mesures des performances acoustiques des écrans

Mesures de réflexion selon EN 1793-5

Procédure

- Calculs réponses impulsionnelles sans (libre) et avec écran
- Filtrage temporelle pour isoler impulsions intéressantes
- Calcul par tiers d'octave indice SI (rapport énergie des deux mesures)
- Calcul d'un indice unique global en dB(A) : DI_{SI}

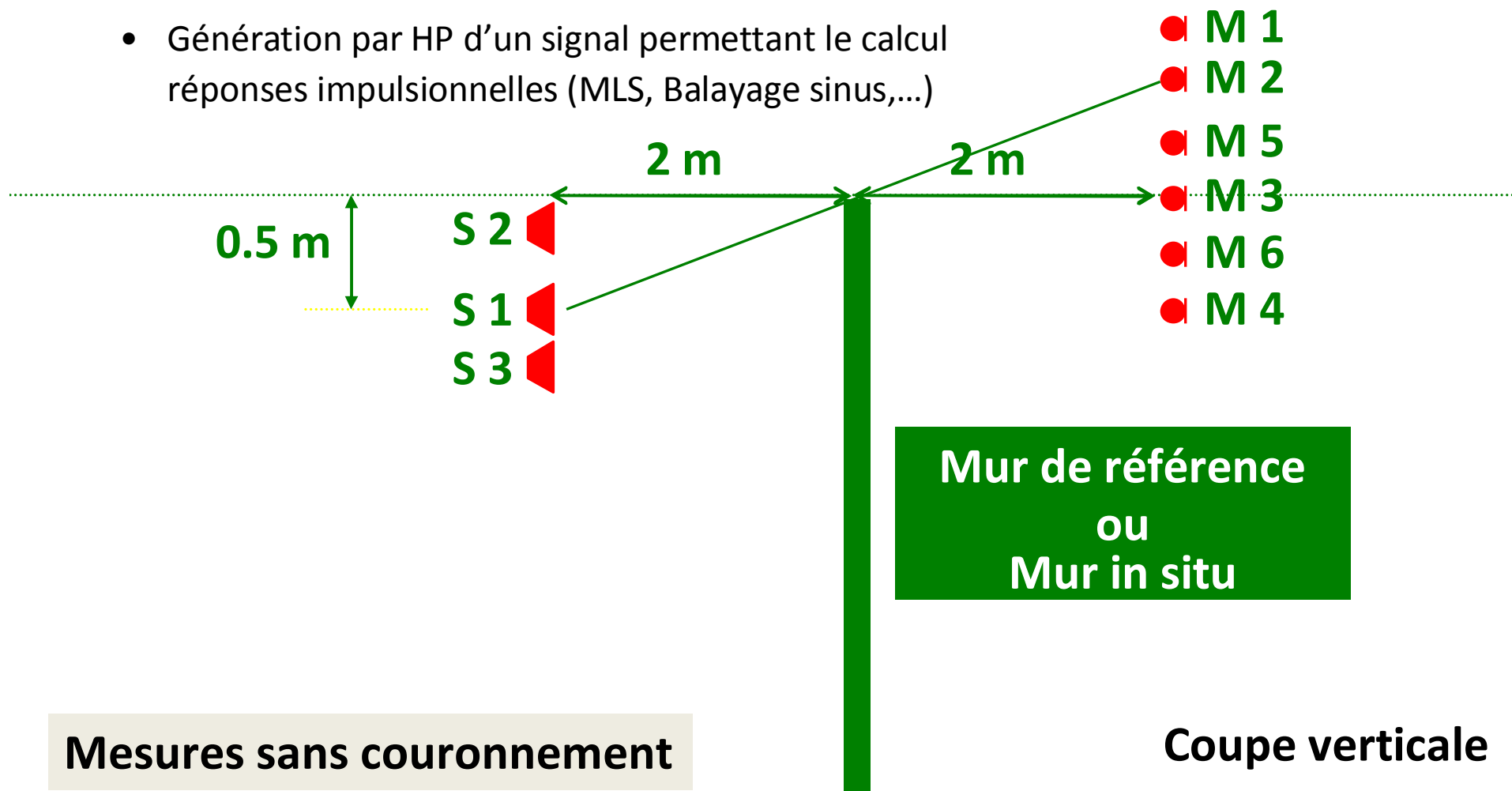
frequency (Hz)	SI AE
100	23,85
125	24,34
160	25,22
200	26,74
250	30,23
315	37,66
400	44,51
500	43,96
630	47,18
800	46,91
1000	50,29
1250	47,21
1600	37,59
2000	40,84
2500	42,97
3150	39,19
4000	38,33
5000	35,91
DL SI	38,5



Mesures des performances acoustiques des écrans

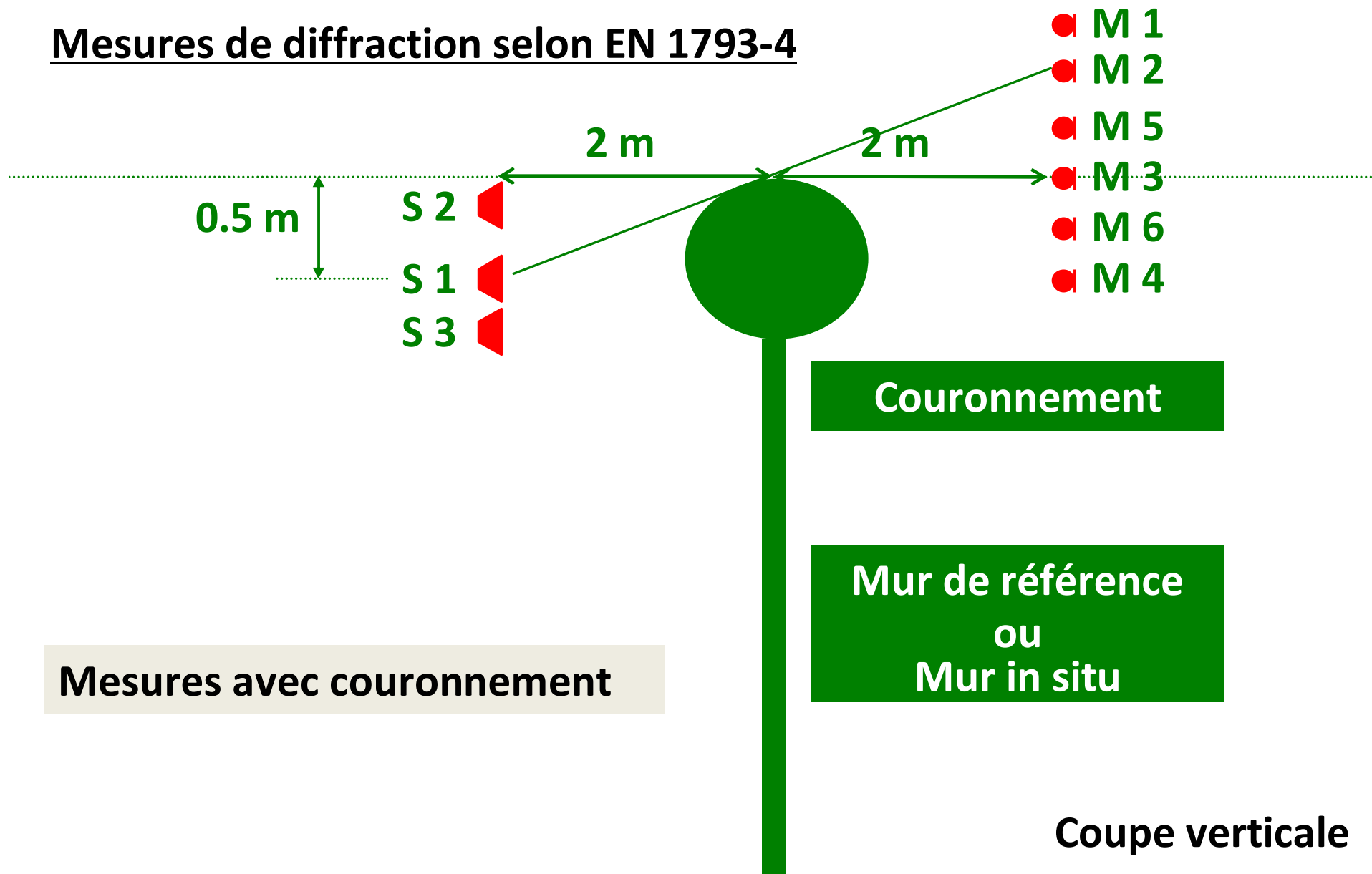
Mesures de diffraction selon EN 1793-4

- Deux mesures avec et sans couronnement
- Génération par HP d'un signal permettant le calcul réponses impulsionnelles (MLS, Balayage sinus,...)



Mesures des performances acoustiques des écrans

Mesures de diffraction selon EN 1793-4



Plan de la présentation

1. Mesures des performances acoustiques des écrans
 - Les normes de mesures
 - L'organisation des contrôles sur les écrans
 - La présentation des normes de mesures in situ (1793-5, 1793-6 et 1793-4)

2. Application à la variabilité d'un écran en béton végétal
 - Contexte

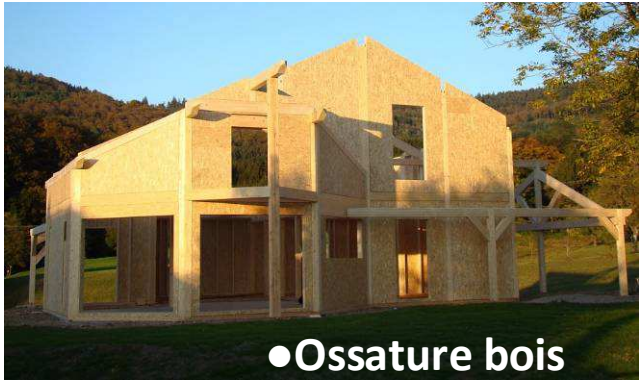
 - Variabilité des performances dans le temps – Effet de la teneur en eau du matériau
 - Suivi de la durabilité des performances in situ
 - Etude de l'impact de la teneur en eau

 - Conclusions et Perspectives

Une (ré)ouverture aux biosourcées...

- Les matériaux poreux, ressources clés de nombreux domaines (bâtiment, travaux-publics, aménagement, transports, ...)
- Un contexte marqué par des enjeux environnementaux ciblés
 - Réduction des émissions de CO₂,
 - Réduction de l'énergie grise ...
- 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* »

Applications (acoustiques) des biosourcés

BATIMENT	 ● Ossature bois	 ● Murs paille	 ● Murs béton de chanvre
...	AUTOMOBILE, AERONAUTIQUE, ...		
ECRANS	 ● Ecrans bois	 ● Ecrans béton de bois	Matériaux composites Particules végétales Microstructure poreuse

Les « bétons végétaux », définition et déclinaisons

- Une matière première d'origine végétale



Bois



Chanvre



Lin



Colza



Tournesol

-> Mais aussi: Bambou, Myscanthus, Typha , Paille, ...

- Différents modes de tenue



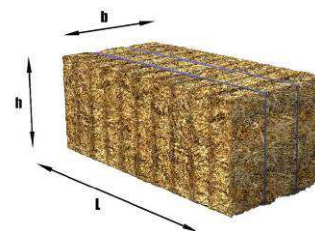
Chaux/ciment



Terre



Extractibles



Tissage



Vrac

Une problématique fondamentale

- Quel comportement à l'eau ?
 - > Porosité de 30 à 90%, répartie à travers plusieurs échelles
 - > Caractère hygroscopique [Gourlay, 2014]
 - Sensibilité à la vapeur d'eau : $\Omega \sim 10-15\%$ à 50% HR
 - Sensibilité à l'eau : $m_{\text{saturée}} \sim 5 \times m_{\text{sèche}}$
 - Quelle prolifération microbienne?
 - > Matériaux riches en cellulose
 - > Teneur en eau élevée
- > Comment évoluent les performances acoustiques des bétons végétaux sur le long terme, dans un environnement « exposé » ?**

Objectif global de l'étude:

Analyse de l'évolution sur le long terme des performances acoustiques d'un béton végétal dans son environnement

Application « Ecrans » - Matériau « Béton de bois » - Focus « Effet de l'eau »

1. Mesures des performances acoustiques des écrans
 - Les normes de mesures
 - L'organisation des contrôles sur les écrans
 - La présentation des normes de mesures in situ (1793-5, 1793-6 et 1793-4)

2. Application à la variabilité d'un écran en béton végétal
 - Contexte

 - Variabilité des performances dans le temps – Effet de la teneur en eau du matériau
 - **Suivi de la durabilité des performances in situ**
 - **Etude de l'impact de la teneur en eau**

 - Conclusions et Perspectives

Suivi *in situ* (EN 1793-5)

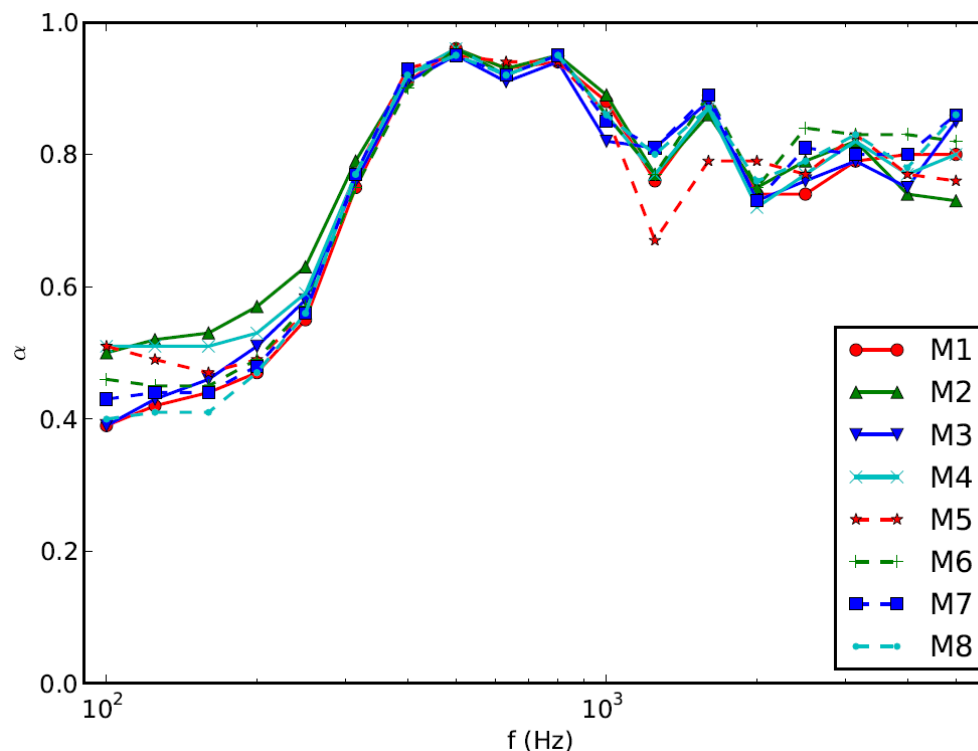
- Période de Juin 2013 à Aout 2015
- 8 échéances

-> Observation de variations significatives (en particulier: $f < 250\text{Hz}$ et $f > 1000\text{Hz}$)

-> Pas d'évolution monotone mise en évidence

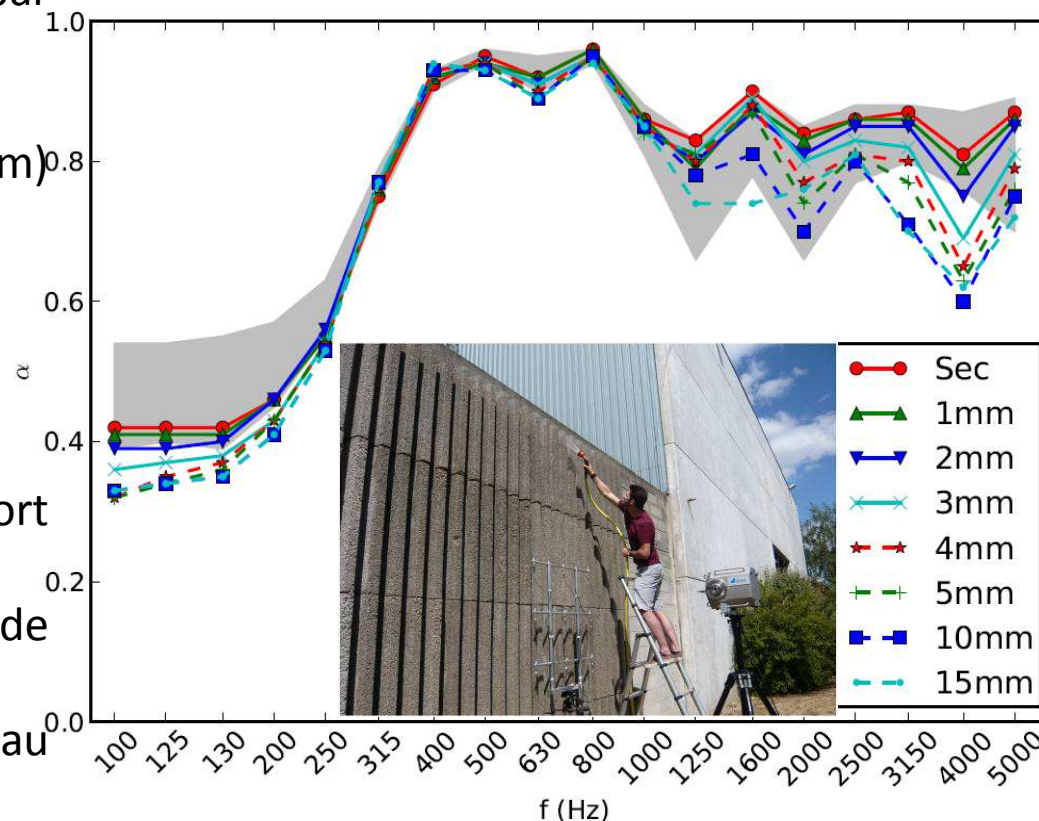
-> Aucune corrélation évidente à la météorologie sur deux semaines avant mesure (précipitations, température, humidité, insolation)

-> **Nécessité de découpler les paramètres environnementaux**



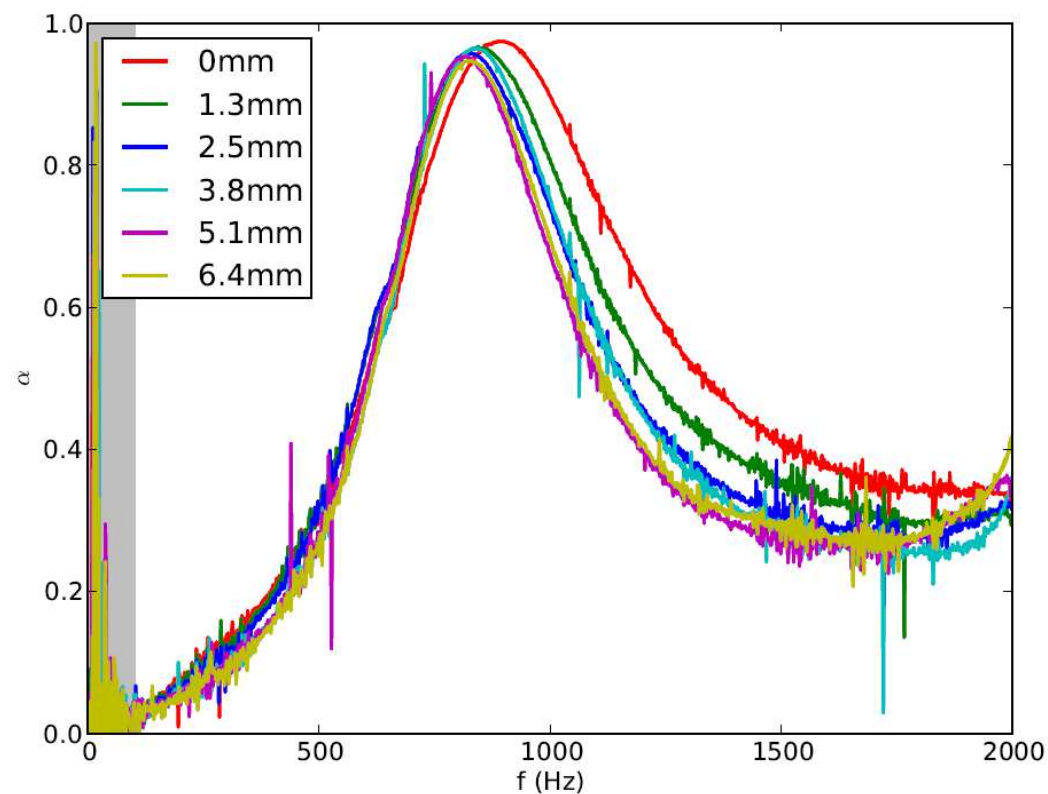
Impact de la teneur en eau (*in situ*) – Evolution performances

- Simulation de précipitation par pulvérisation au jet
 - > Dispositif de caractérisation fixe
 - > Pluviométries de 0 à 15mm (5.8mm) réparties sur la surface d'écran
 - > Délai de stabilisation de 5min
- Un effet significatif de l'eau
 - > Baisse BF et HF de l'absorption
 - > Variation allant jusque 25% par rapport à l'état de référence
 - > Évolution en dehors de la gamme de suivi
 - > Stabilisation au-delà de 10mm d'eau (saturation observée sur le matériau)



Impact de la teneur en eau (*labo*) – Evolution performances

- Analyse en incidence normale de pluviométries de 0 à 6.4mm
- > Baisse d'absorption pour $f > 900\text{Hz}$
- > Décalage pic absorption BF
- > Stabilisation au dessus de 5mm



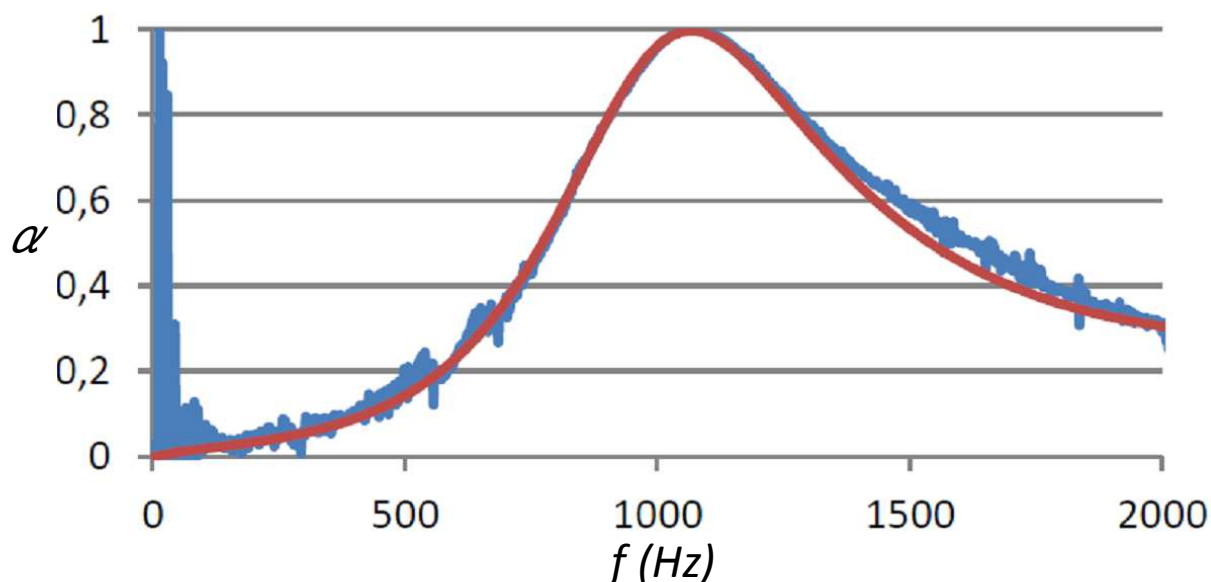
Impact de la teneur en eau (*labo*) – Modélisation

● Hypothèses:

- > Eau répartie de façon homogène dans l'épaisseur du matériau (modélisation « 1 couche »)
- > Intégration de l'eau à la phase squelette rigide du matériau
- > Répartition de l'eau entre les pores « inter » et les pores « intra »

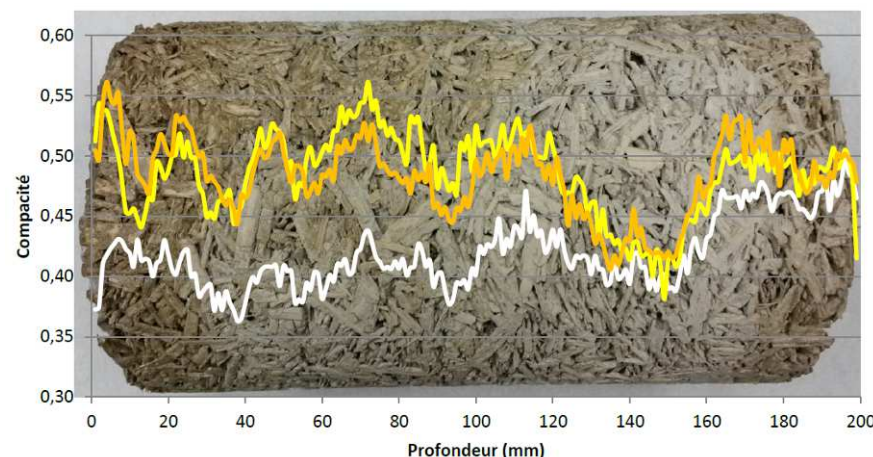
● Résultats:

- > Approche satisfaisante des mesures expérimentales (*exemple*: béton de chanvre pour une pluviométrie de 5mm)

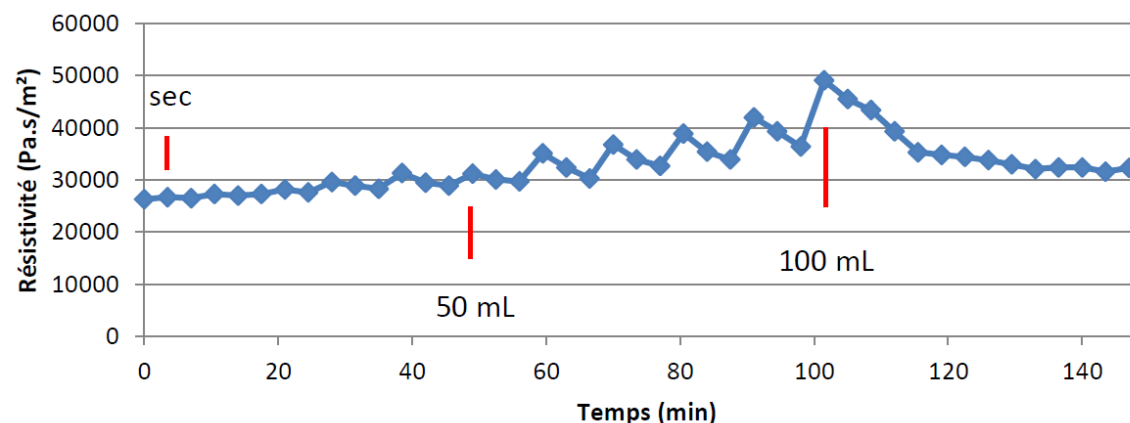


Impact de la teneur en eau (*labo*) – Validation hypothèses

- Répartition des masses d'eau
 - > Evaluation du profil de densité par gammadensimétrie
 - > Comparaison référence/13mm
 - > Observation d'une infiltration sur 14cm par les pores interparticules



- Transport d'eau dans les pores
 - > Mesures de résistivité réalisées à différentes échéances après mouillage
 - > Mise en évidence d'un transport des masses d'eau des pores « inter » vers les pores « intra »



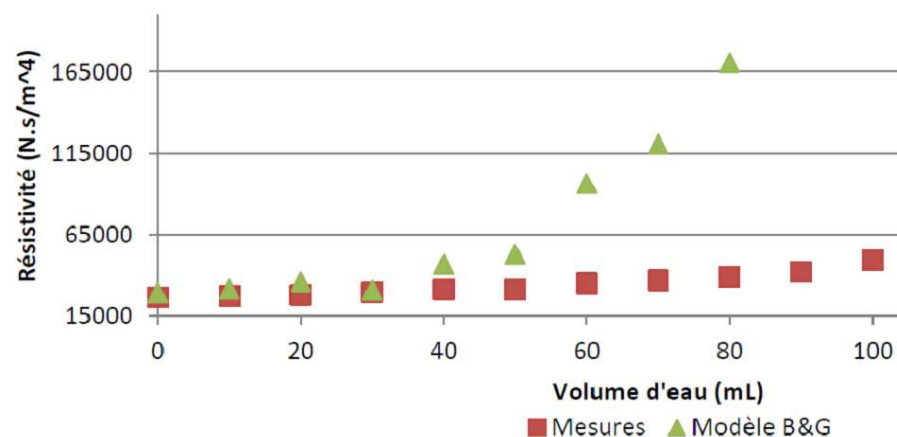
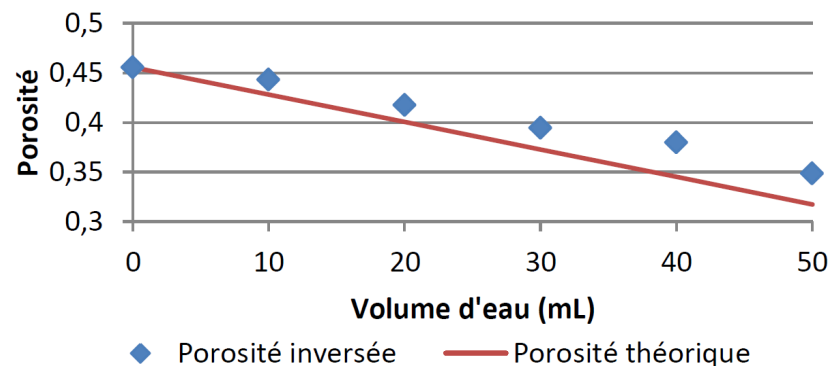
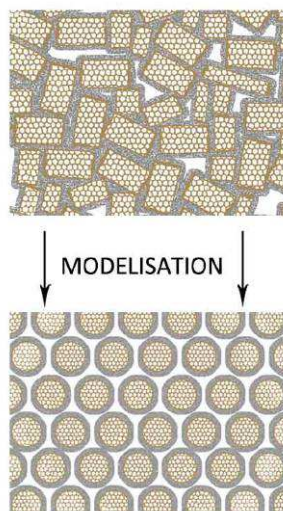
Impact de la teneur en eau (*labo*) – Analyse microstructurale

- Evolution de la porosité
- > Une réduction partielle de la porosité inter-particule due à l'eau

-> Eau répartie dans et entre les particules

- Evolution de la résistivité
- > Hypothèse d'un rayon constant mise en défaut par le modèle

-> Mise en évidence d'un gonflement des particules associé à un colmatage des pores par l'eau



Plan de la présentation

1. Mesures des performances acoustiques des écrans
 - Les normes de mesures
 - L'organisation des contrôles sur les écrans
 - La présentation des normes de mesures in situ (1793-5, 1793-6 et 1793-4)

2. Application à la variabilité d'un écran en béton végétal
 - Contexte

 - Variabilité des performances dans le temps – Effet de la teneur en eau du matériau
 - **Suivi de la durabilité des performances in situ**
 - **Etude de l'impact de la teneur en eau**

 - Conclusions et Perspectives

● Conclusions

- > Pas de vieillissement mis en évidence sur la durée de suivi
- > Variations liées à l'historique météo
- > Effet significatif de la teneur en eau après précipitations
- > Observation du transport de l'eau vers les pores « intra »

● Perspectives

- > Prolongation du suivi (vieillissement)
- > Environnement plus exposé (sel, gel)
- > Suivi plus systématique de la migration de masse d'eau (épaisseur de pénétration)
- > Modélisation plus fine de l'écran *in situ*

-- Nos remerciements au groupe Capremib pour nous avoir fournis les échantillons --

Merci de votre attention...

...des questions?

**Patrick DEMIZIEUX / Philippe GLE
Cerema – DTer-Est
Laboratoire de Strasbourg**

- patrick.demizieux@cerema.fr tél 03 88 77 46 29
- philippe.gle@cerema.fr tél 03 88 77 46 28

- Caractérisation de l'état de référence
 - Matériaux et méthodes
 - Spécificités
 - Modélisation

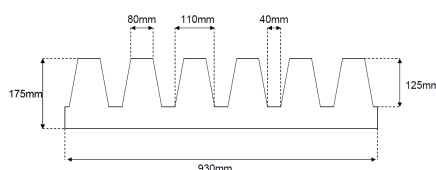
Matériaux

&

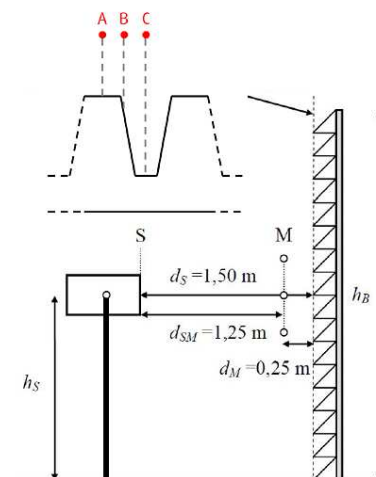
Méthodes

In situ

- Ecran béton de bois nervurés
- Masse vol. $\sim 800 \text{ kg.m}^{-3}$
- Agencement 4m x 4m



- Méthode « Quesst »
[prEN 1793-5, 2016]
- Emission MLS
- Gamme [100, 5000Hz]

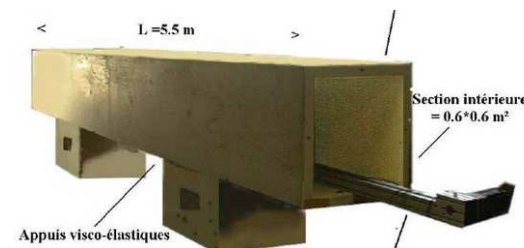


Labo

- Echantillon nervuré
60cm x 60cm
- Echantillons arrasés
 $\varnothing 10\text{cm}$

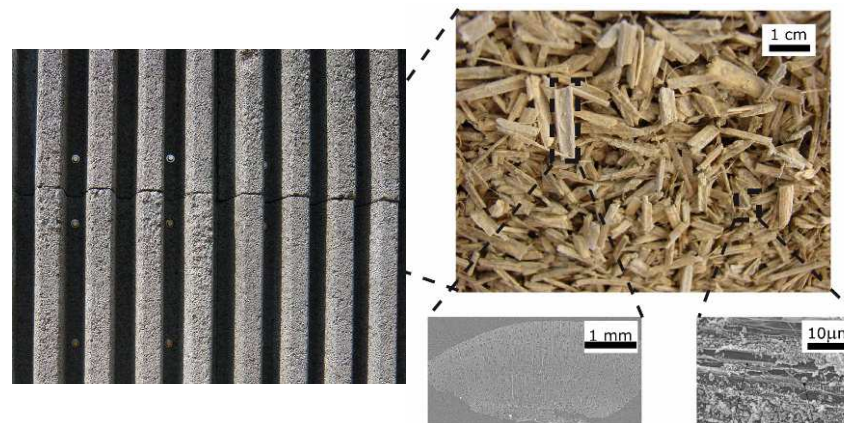


- Tubes de Kundt
- Tube ENTPE
[50, 500Hz]
- Tube Cerema
[150, 2000Hz]

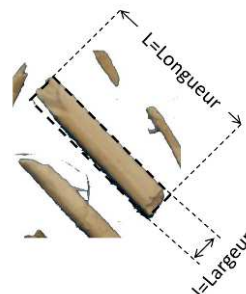


Spécificités

- Microstructure
-> Approche multi-échelle
(Pores « inter » et « intra »)

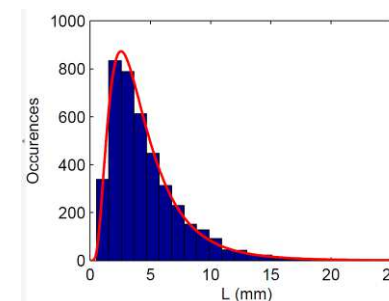


- Formes des granulats
-> Anisotropie matériau



<i>L</i>	<i>l</i>	<i>e</i>
1 cm	5 mm	1 mm

- Granulométrie étendue
-> Distribution taille pores étendue



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 ($F_d \approx 0$)

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

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

$$\rightarrow k = \omega \sqrt{\frac{\rho}{K}} \rightarrow \alpha$$

$$Z_c = \omega \sqrt{\rho K}$$

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

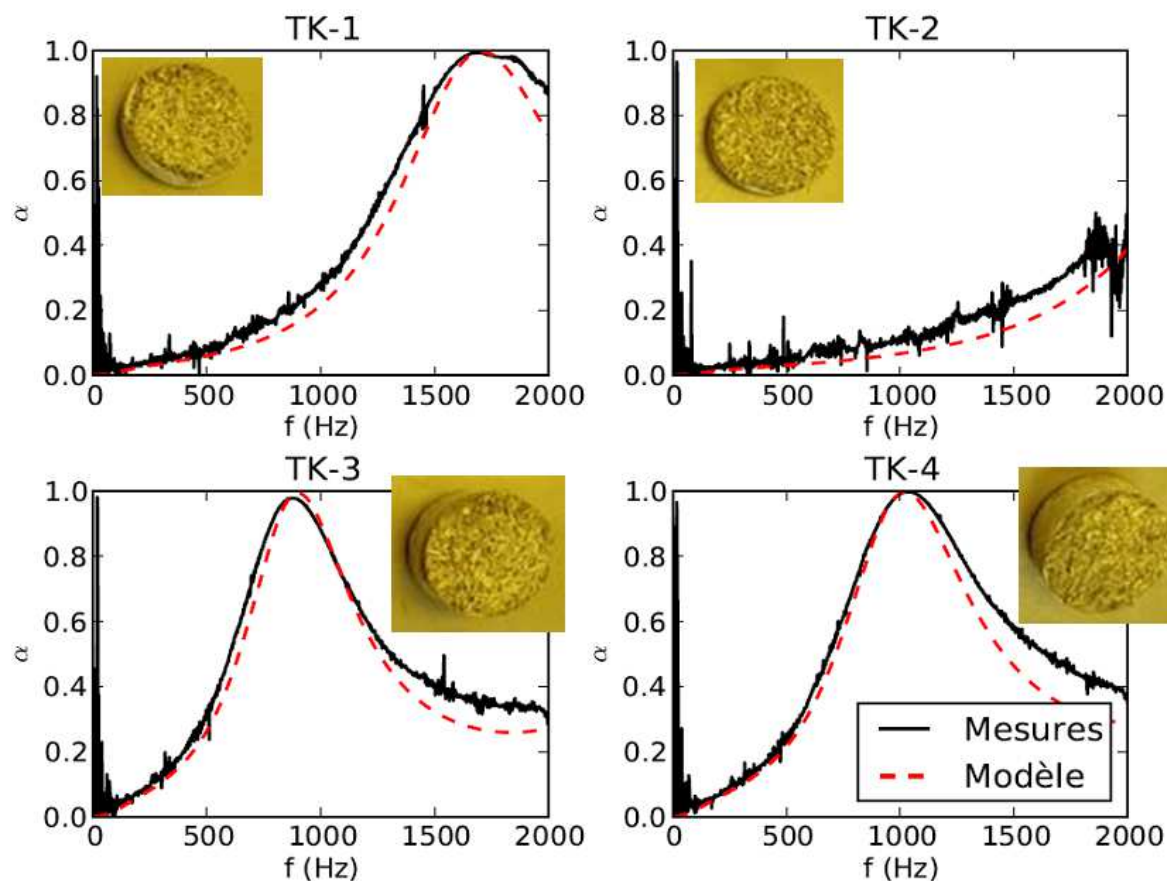
$$\left. \begin{array}{l} \text{Effets visco-inertiels} \\ \text{Effets thermiques} \end{array} \right\} \phi_{inter}, \sigma, \alpha_{\infty}, \Lambda$$

Modélisation

● Paramètres

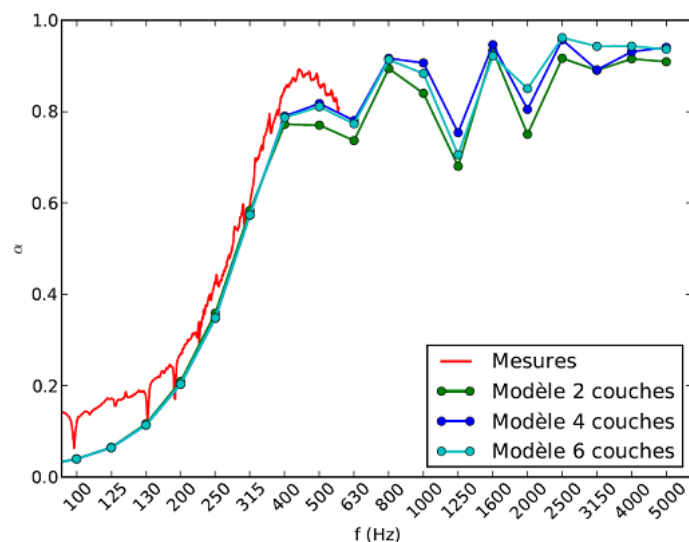
ϕ_{inter}	40%
σ	10000 Nm ⁻⁴ s
α_{∞}	3
Λ	300 μ m

● Résultats



Transposition labo -> *in situ*

- Modélisation du matériau nervuré
 - > Découpage multi-couche
 - > Modélisation par perforation (double-porosité)
 - > Méthode de matrice de transfert



- Modélisation de l'écran (incidence moyennée)
 - > Calcul pour $\Theta=0^\circ$ (1 micro)
 - > Calcul pour $\Theta=17.7^\circ$ (4 micros)
 - > Calcul pour $\Theta=24.3^\circ$ (4 micros)

