JOURNEES TECHNIQUES ACOUSTIQUE ET VIBRATIONS

Lois d'atténuation et d'amplification des vibrations dans les sols hétérogènes

Abdul Karim Jamal Eddine
Jean-Francois Semblat
Luca Lenti
IFSTTAR-GERS/SV

Cerema DTerNC – Rouen – 11 & 12 mai 2017

Objectif et méthodologie

- **Etablir des lois d' atténuation des vibrations dans les sols hétérogènes en utilisant des indicateurs de type gradient-vitesse**

- **Méthodologie:**
  - **Adaptation des indicateurs utilisés en sismologie**
  - **Génération d'une famille des profils/sols hétérogènes**
  - **Méthode des éléments finis**

Indicateurs liés à la vitesse

Vitesse Moyenne:

- $V_{s(30)}$ dans le domaine sismique (EC8, Borcherdt and Glassmoyer 1992 , Boore 2004)

Indicateurs Complémentaires:

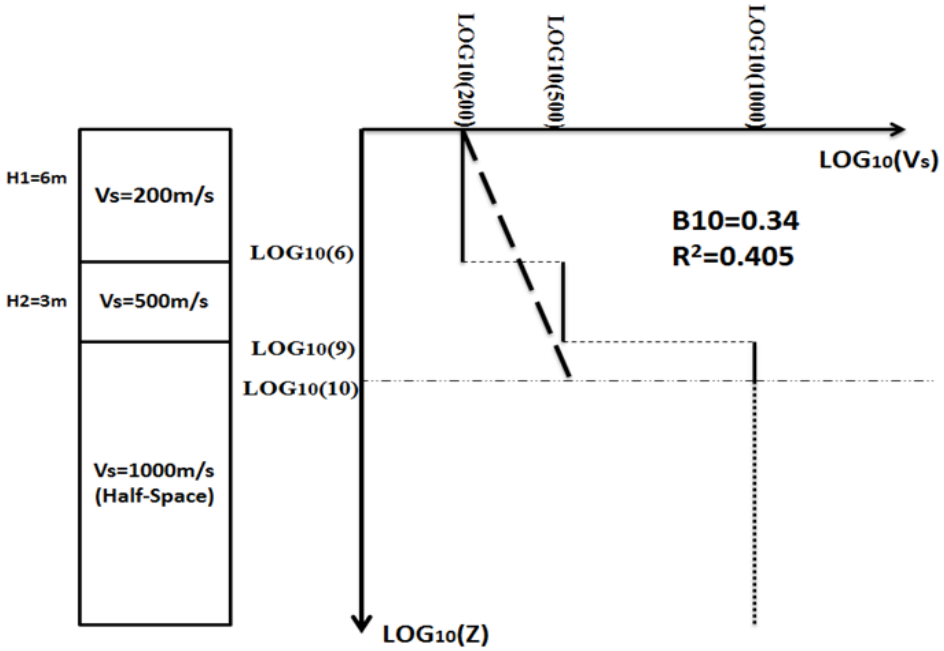
- $V_{s(30)}$ et f_0 (Luzi et al.2011, Cadet et al.2008)
- B_{30} avec $V_{s(30)}$ et f_0 (Régnier et al. 2014)

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		V_{S30}	N_{SPT} (coups/30 cm)	c_u (kPa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant	> 800	-	-
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur	360 – 800	> 50	> 250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec v_s > 800 m/s			
S_1	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (PI > 40) et une teneur en eau importante.	< 100	-	10 – 20
S_2	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S_1.			

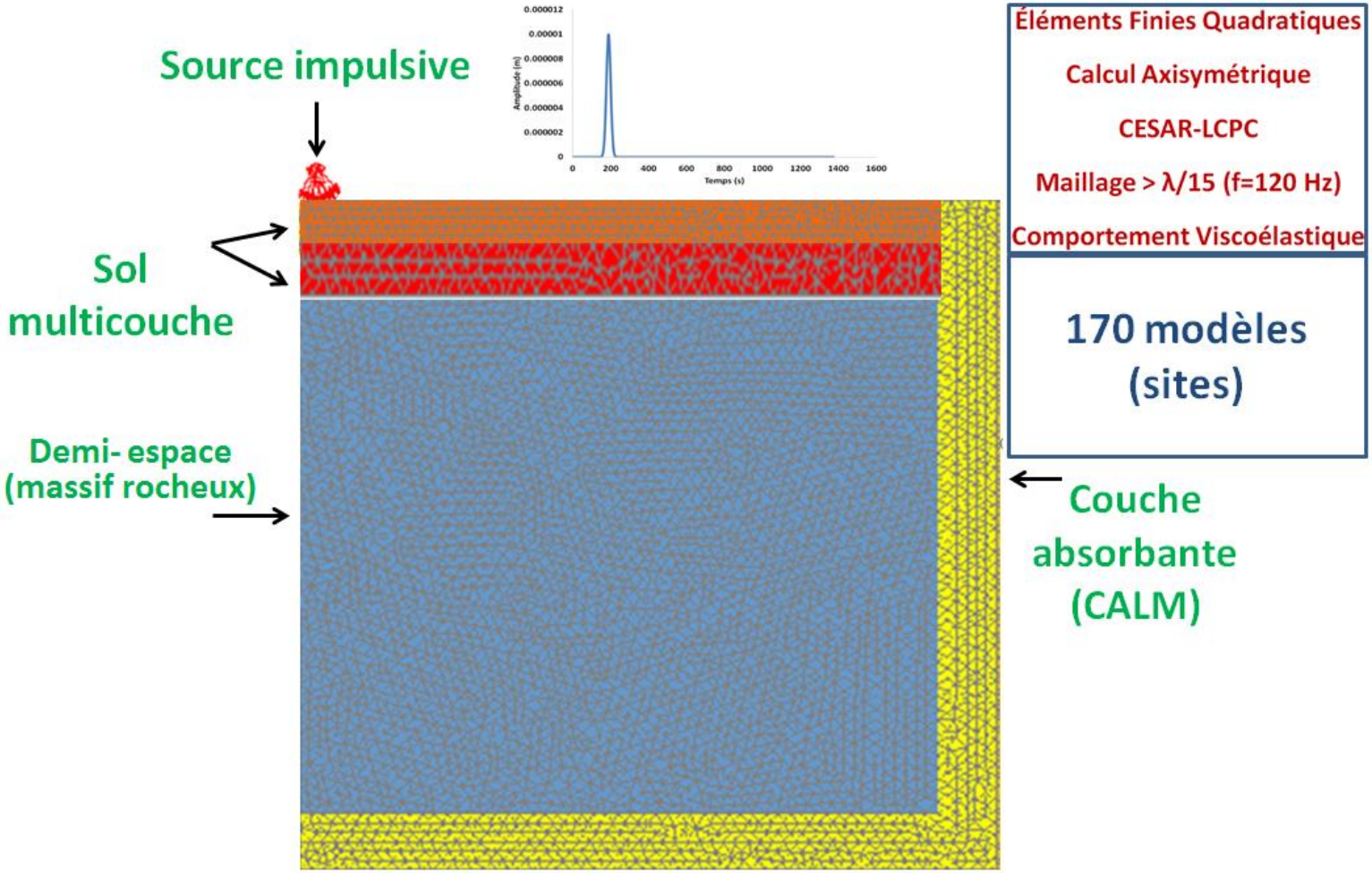
Indicateur Gradient-Vitesse

- **Paramètre de gradient examiné: B_{20}, B_{15}, B_{10}**

$$\mathrm{Log_{10}V_S\,(z) = B_{zmax} \times Log_{10}(z) + A_z}$$

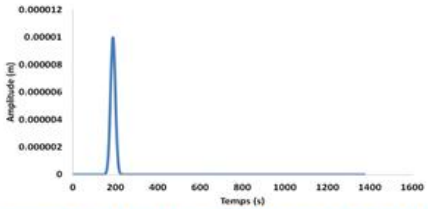


Modèle de propagation



Modèle de propagation

Source impulsive



Éléments Finies Quadratiques

Calcul Axisymétrique

CESAR-LCPC

Maillage > λ/15 (f=120 Hz)

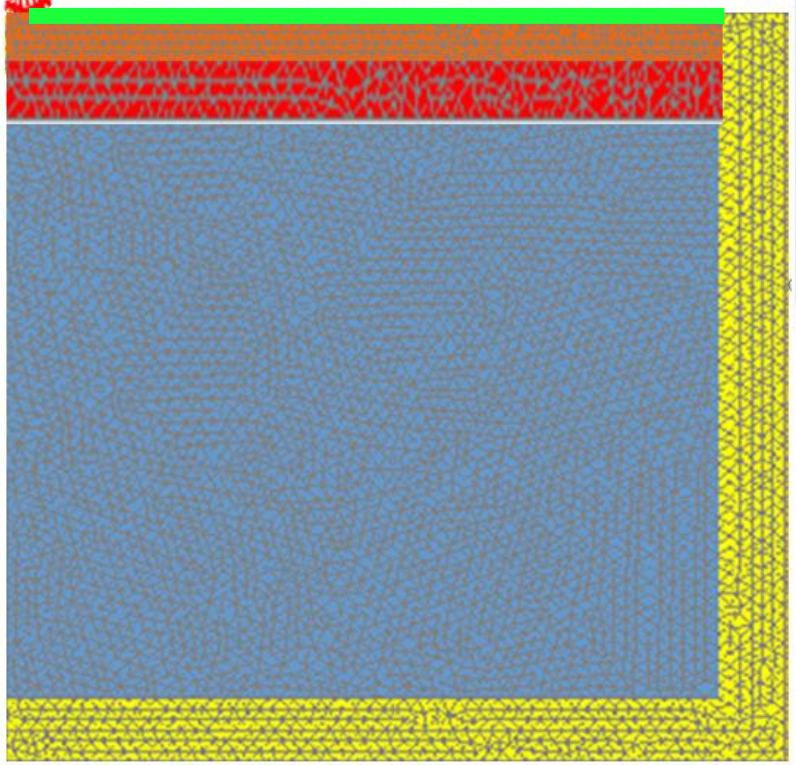
Comportement Viscoélastique

170 modèles (sites)

Déplacement sur la surface

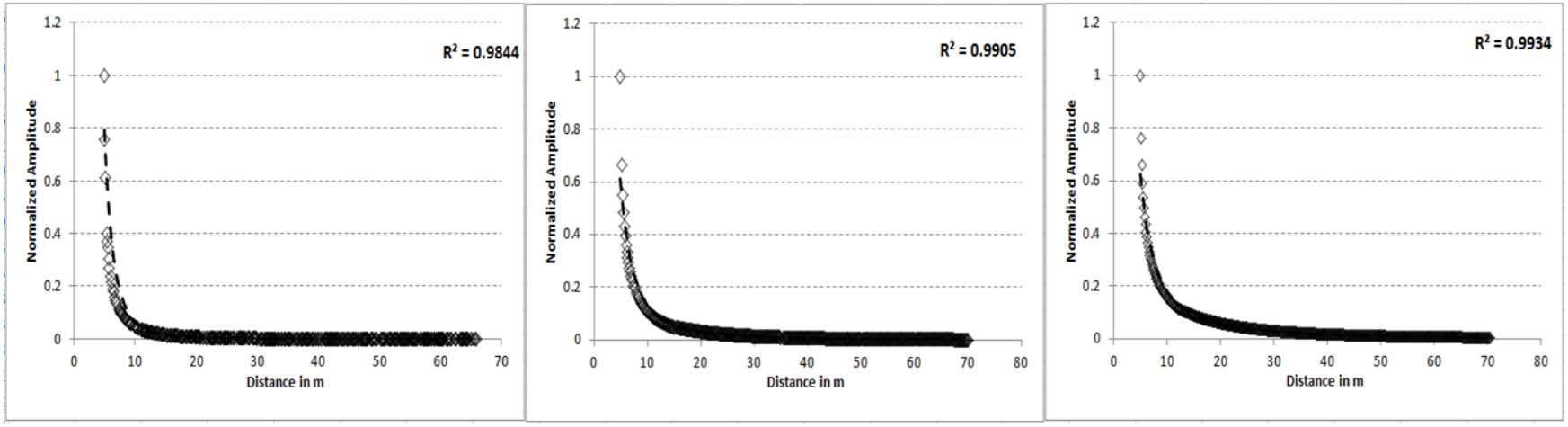
Variation avec la distance

Valeurs maximales du déplacement



Couche absorbante (CALM)

Lois d'atténuation simples



Attenuation laws for homogeneous soils (a) Vs=100m/s,(b)Vs=200m/s,(c)Vs=400m/s

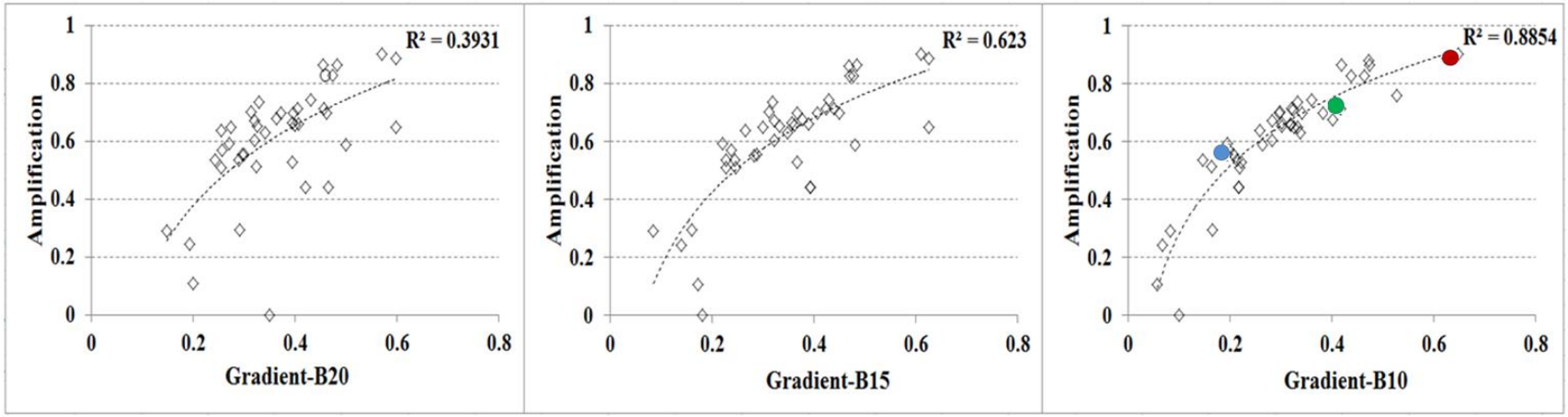
$$Attenuation\ Level\ AL = 10.53 \times (d+5)^{-1.75} \quad \text{for Vs=400m/s}$$

$$Attenuation\ Level\ AL = 19.15 \times (d+5)^{-2.16} \quad \text{for Vs=200m/s}$$

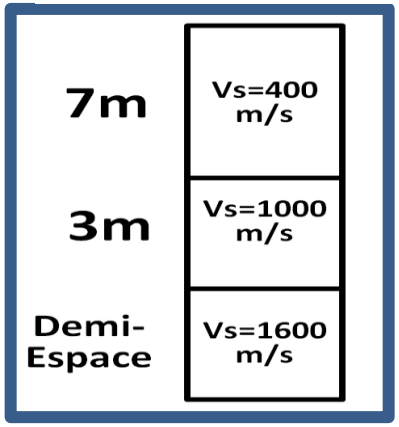
$$Attenuation\ Level\ AL = 54.53 \times (d+5)^{-3.02} \quad \text{for Vs=100m/s}$$

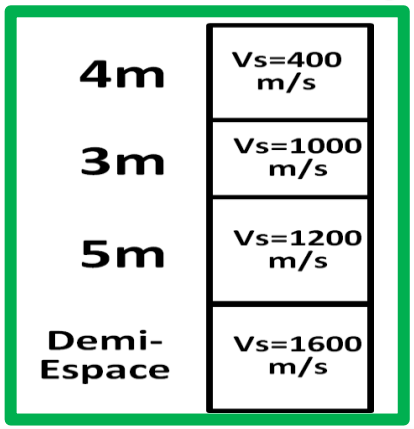
Lois d'amplification simples (ex. Vs=400m/s)

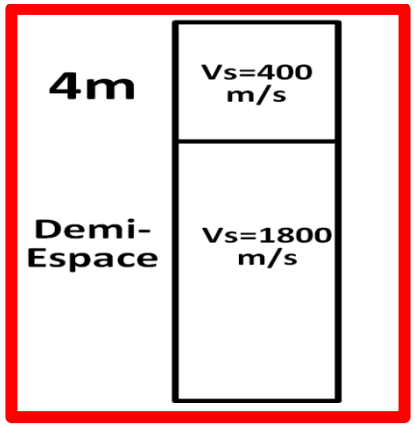
$$\text{Amplification Factor AF} = \frac{\text{PGD(Multilayered)-PGD(Homogeneous)}}{\text{PGD(Homogeneous)}}$$



$$\text{Amplification Factor AF} = 0.34 \times \ln B_{10} + 1.06 \quad \text{for Vs=400m/s}$$

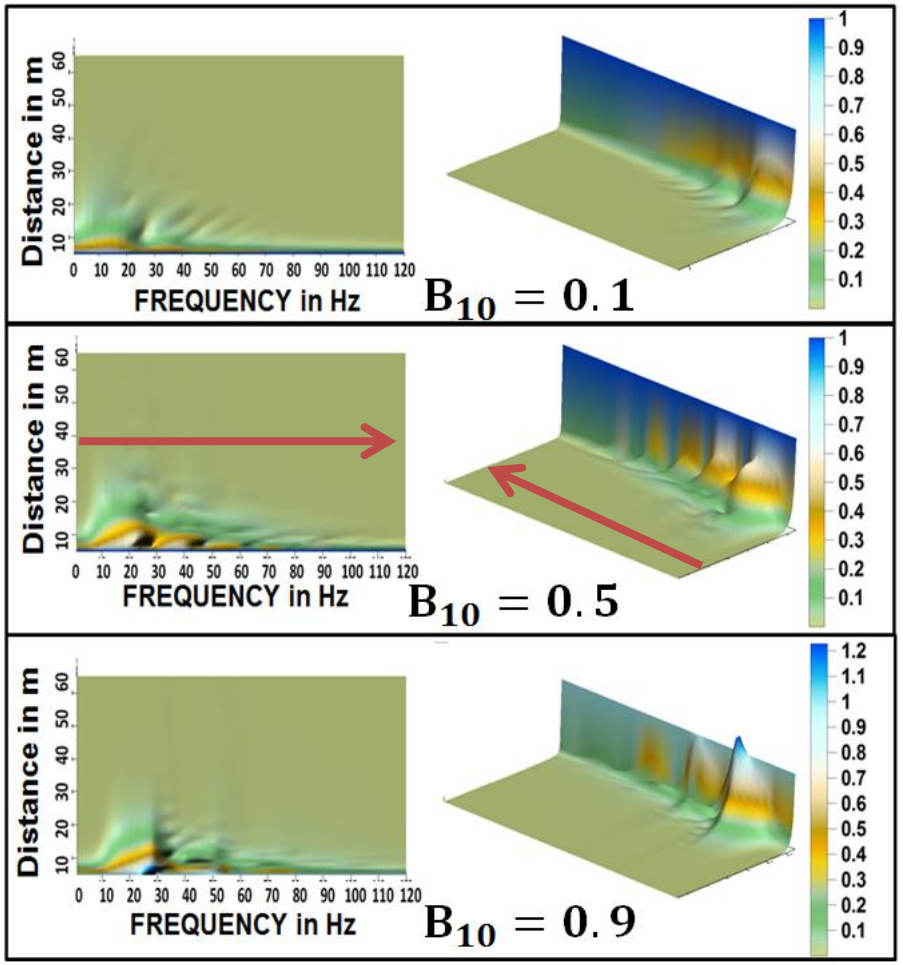






Approche spectrale (domaine de fréquence)

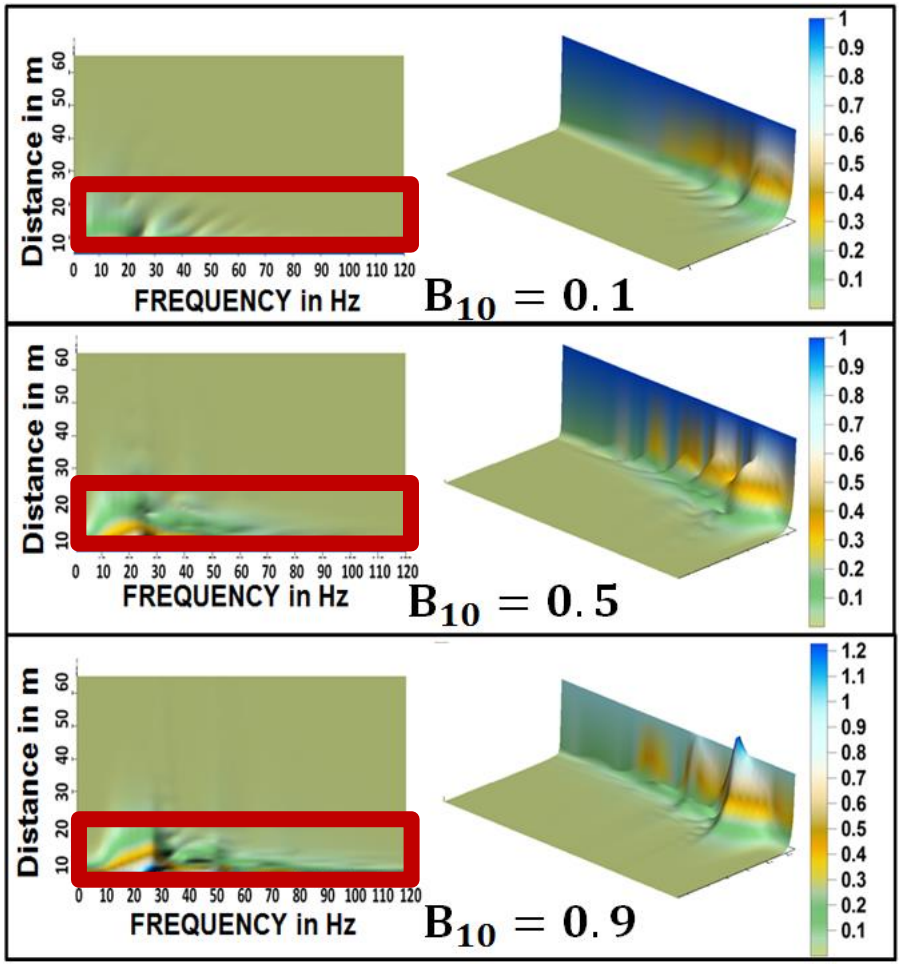
- Mêmes modèles précédents, analysés dans le domaine de fréquence (transformée de Fourier)
- Moyennes des amplitudes du déplacement spectral pour des gammes de gradients similaires



$V_{s(3)}$ =100m/s

Approche spectrale (domaine de fréquence)

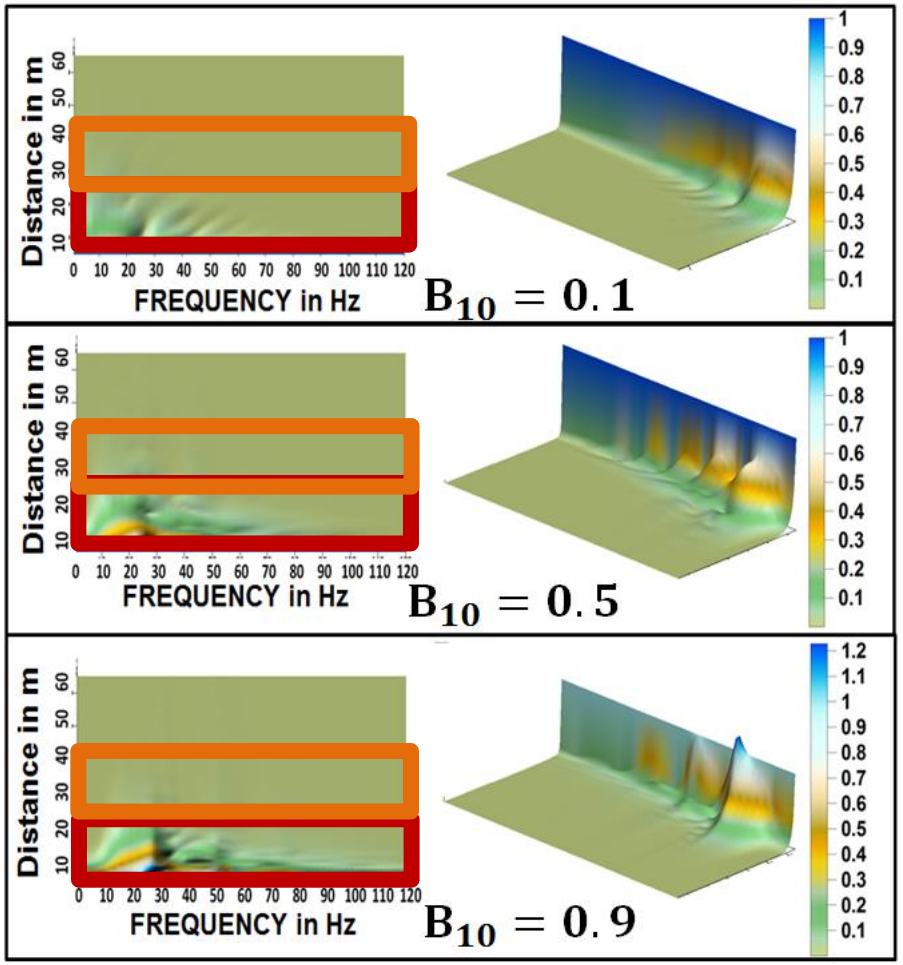
- Mêmes modèles précédents, analysé dans le domaine de fréquence (transforme de fourrier)
- Moyennes des amplitudes de déplacement spectrale pour les cas qui ont des gradients similaires
- Divisions des réponses en trois champs de distance: proche



$V_{s(3)}$ =100m/s

Approche spectrale (domaine de fréquence)

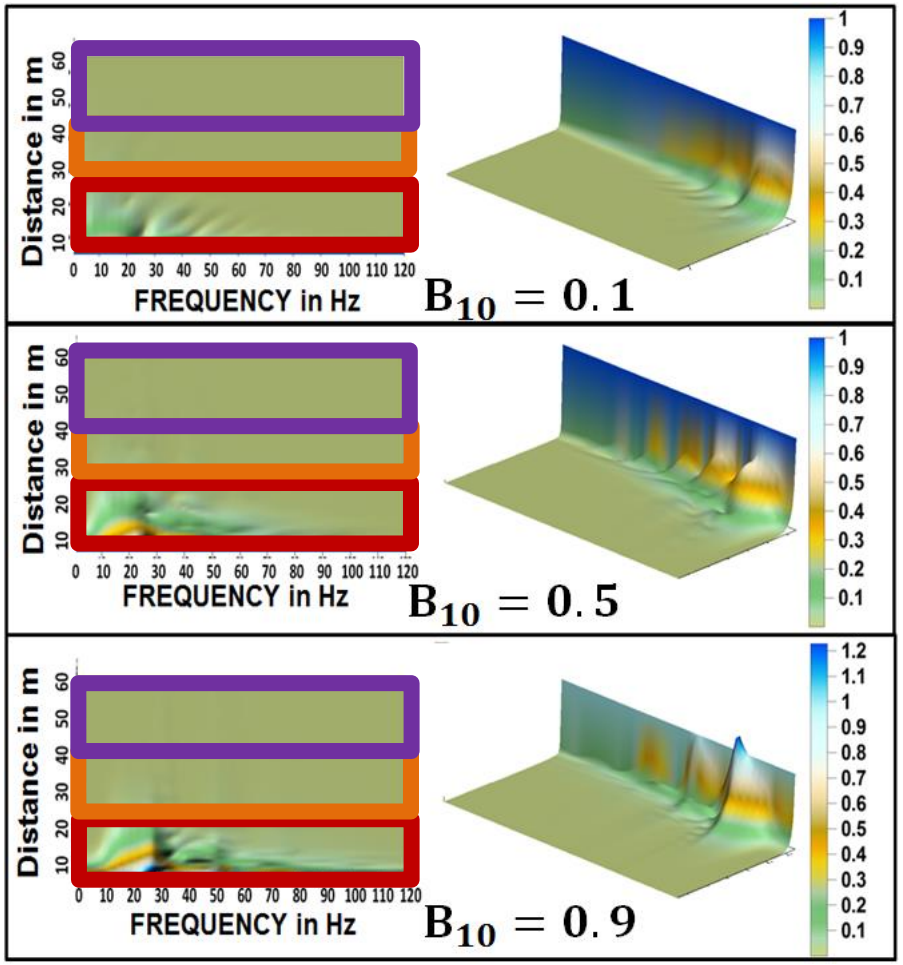
- Mêmes modèles précédents, analysé dans le domaine de fréquence (transforme de fourrier)
- Moyennes des amplitudes de déplacement spectrale pour les cas qui ont des gradients similaires
- Divisions des réponses en trois champs de distance: proche, moyen



$V_{s(3)}$ =100m/s

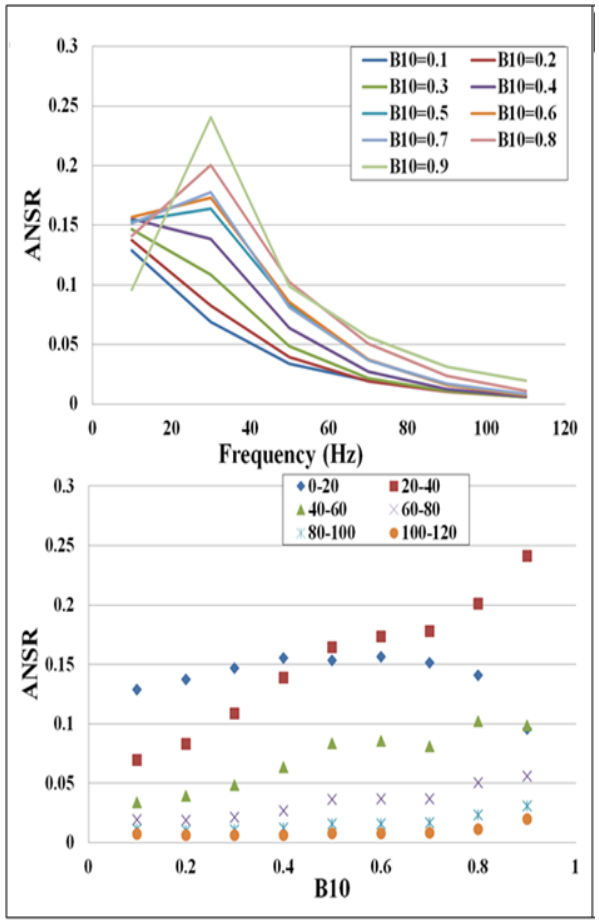
Approche spectrale (domaine de fréquence)

- Mêmes modèles précédents, analysé dans le domaine de fréquence (transforme de fourrier)
- Moyennes des amplitudes de déplacement spectrale pour les cas qui ont des gradients similaires
- Divisions des réponses en trois champs de distance: proche, moyen, lointain



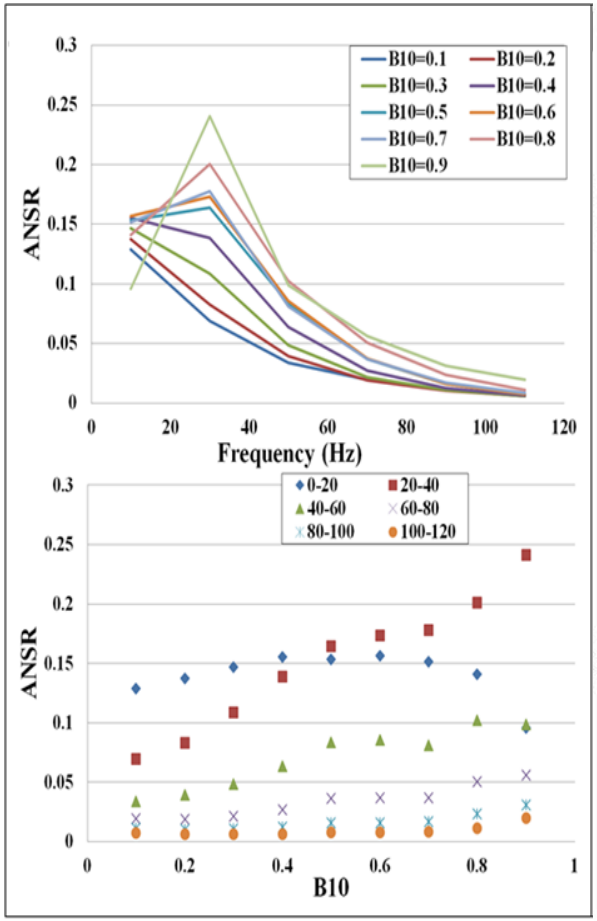
$V_{s(3)}$ =100m/s

Approche spectrale (domaine de fréquence)

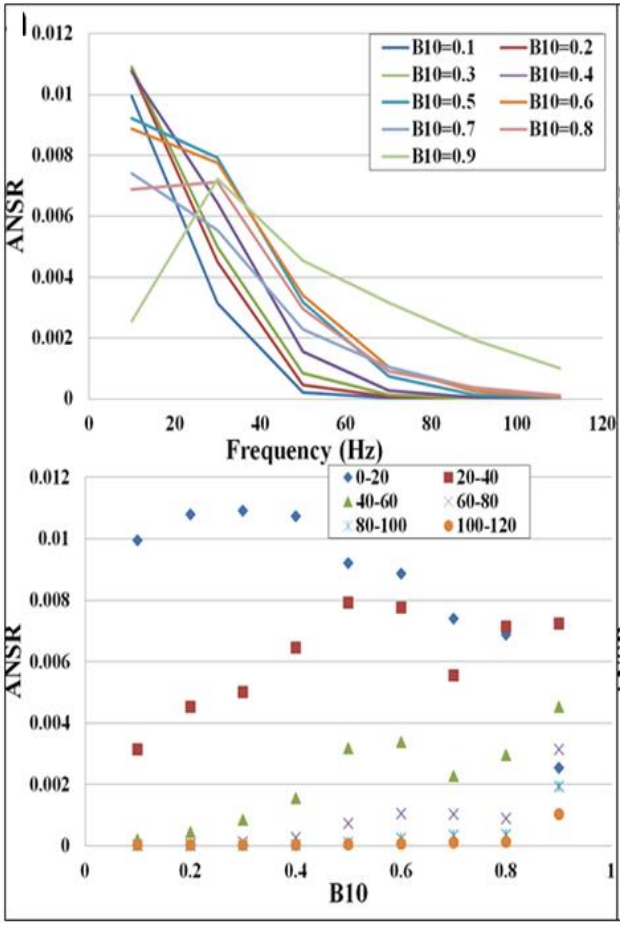


Champ proche

Approche spectrale (domaine de fréquence)

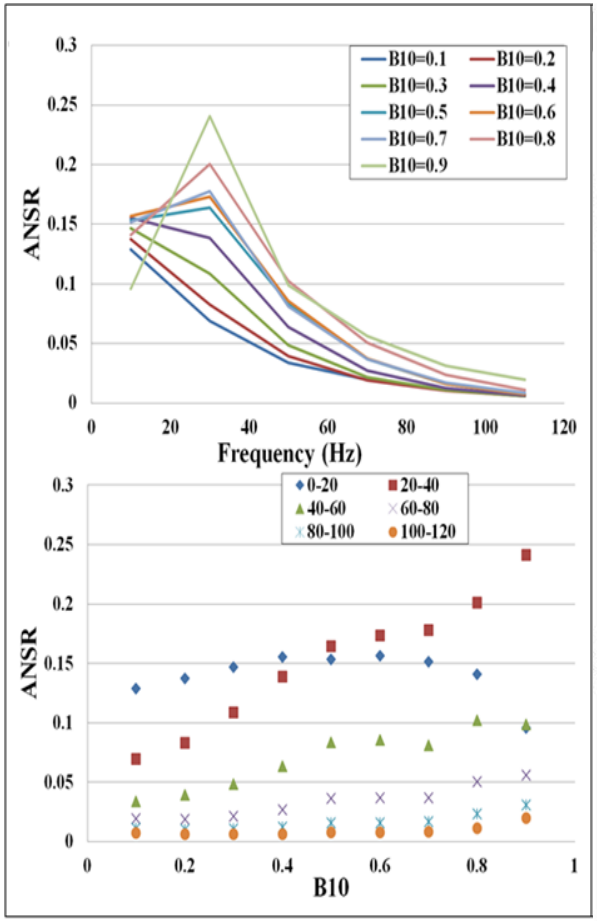


Champ proche

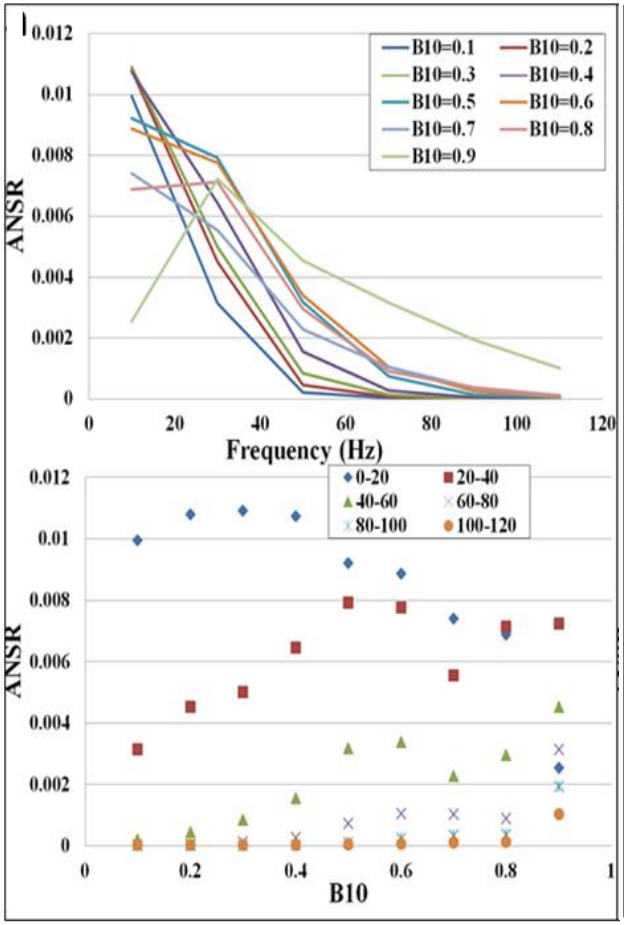


Champ moyen

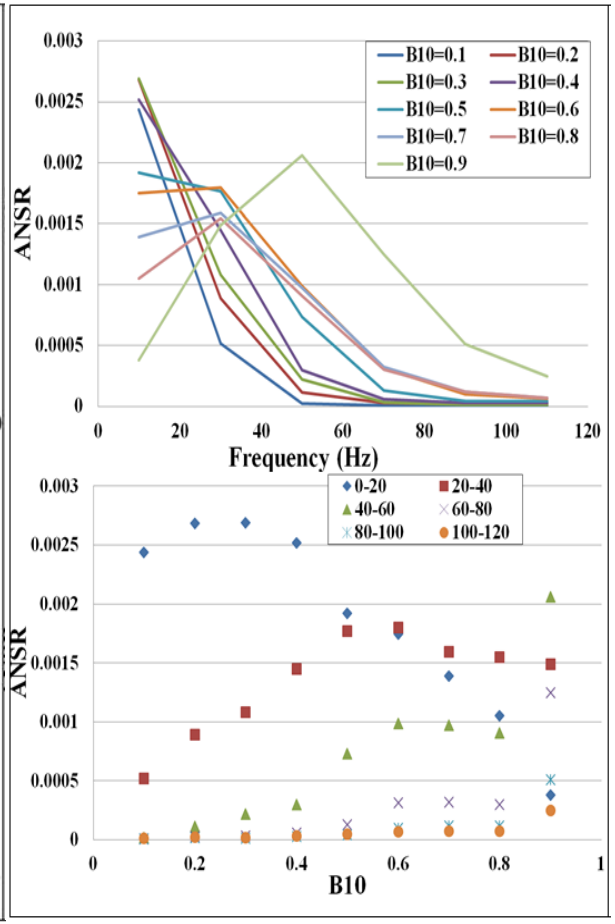
Approche spectrale (domaine de fréquence)



Champ proche



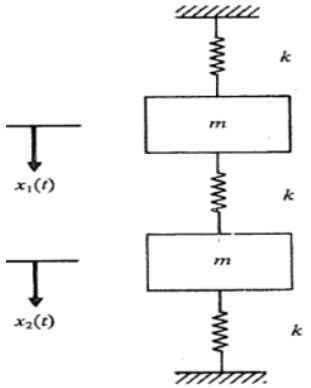
Champ moyen



Champ lointain

Quelques conclusions

- $V_{s(3)}$ et B_{10} sont des indicateurs robustes et fiables
- Dans le champs proche, la fréquence dominante est estimée par $f_0 = \frac{V_{s(3)}}{h_1}$
- Pour les sols faibles avec de forts gradients, des modes d'excitation supérieurs peuvent apparaître



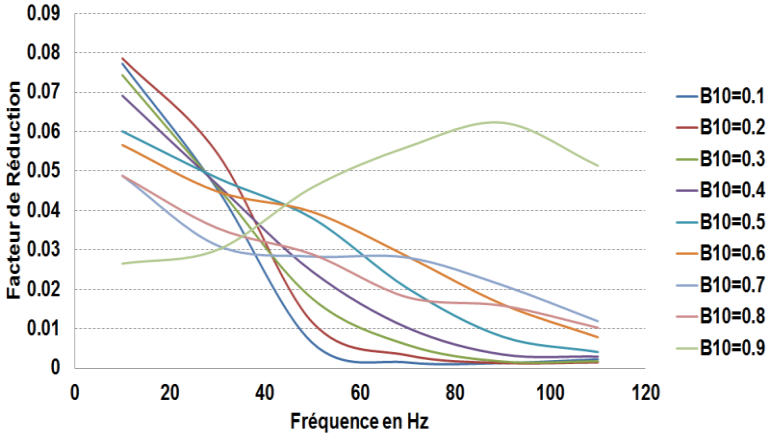
Loi d’ atténuation grand échelle-fréquentielle

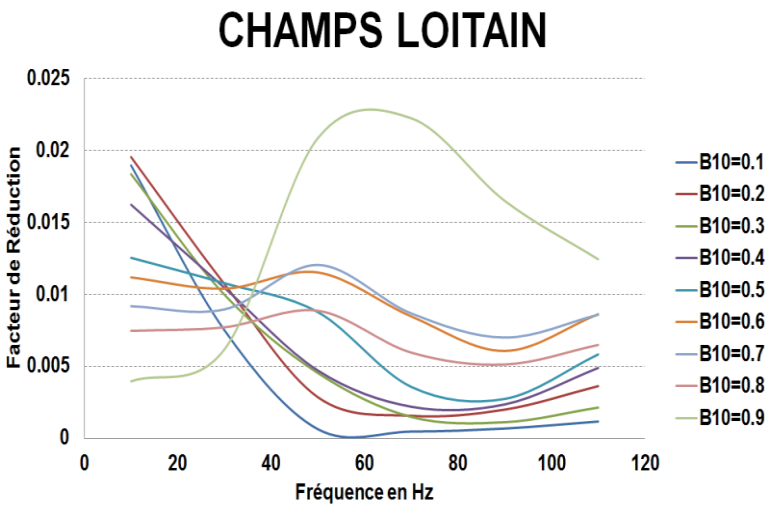
La loi de Chapot

$V = K\,(D/\sqrt{Q})^{-1,8}$

Avec :

V, la vitesse de vibration en mm/s ;
D, la distance tir-capteur en m ;
Q, la charge unitaire instantanée d’explosif en kg ;
K, le coefficient de site, variant de 300 à 6 000 avec une valeur moyenne de 2 500.





$V_{s(3)} = 100 m/s$

Perspectives

- Abaques de prédiction plus intégrées
- Etude des lois d'atténuation sur des petits échelles / selon le site
- Etude des effets des modes supérieurs apparaissant loin de la source
- Affiner les résultats expérimentaux
- Développement d'un outil de prédiction plus avancé (numérique + intelligence artificielle).

Merci de votre attention

Abdul Karim Jamal Eddine, Jean-Francois Semblat, Luca Lenti
IFSTTAR, GERS/SV
14-20 Boulevard Newton
77447 Champs-sur-Marne
Abdul-karim.jamal-eddine@ifsttar.fr ; jean-francois.semblat@ifsttar.fr ; luca.lenti@ifsttar.fr

ANNEXE I

- $V_{s(3)}$ été adapté comme paramètre de vitesse

  F = 60 Hz

  $V_{Smoyenne}$ =200m/s

  $\lambda = \frac{V_{Smoyenne}}{F} \backsimeq 3.3m$