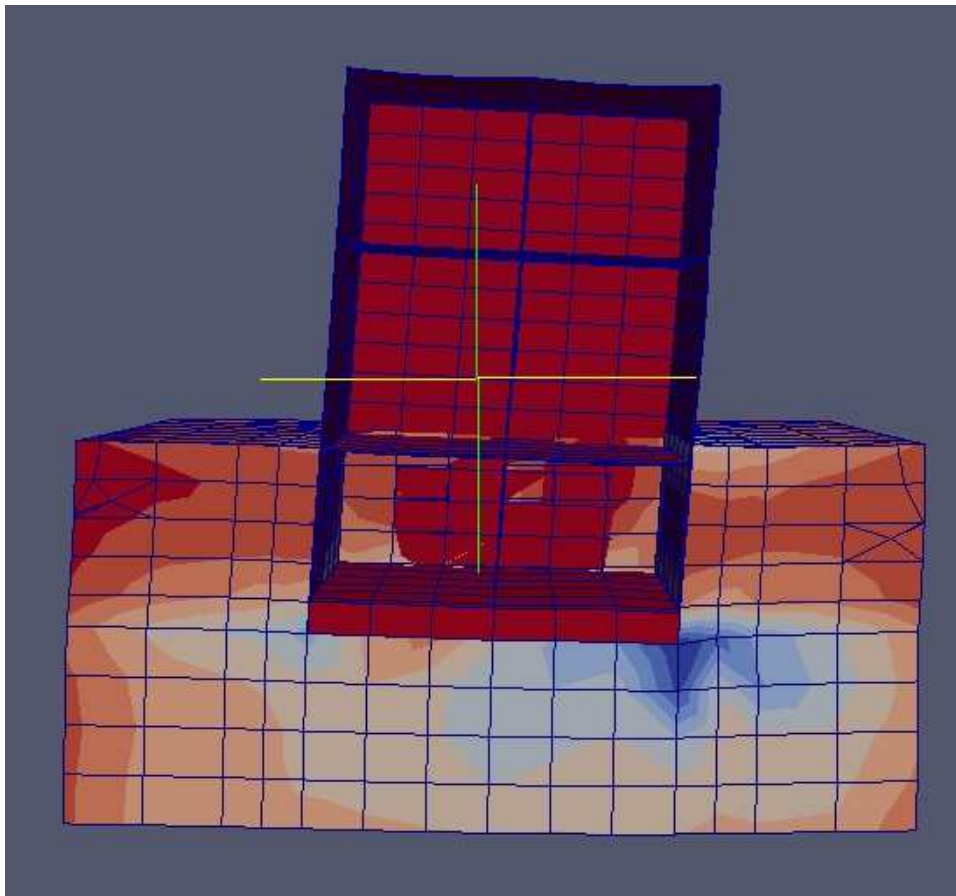


Réponse sismique d'une colonne de sol avec *Code_Aster*

Méthode linéaire équivalente



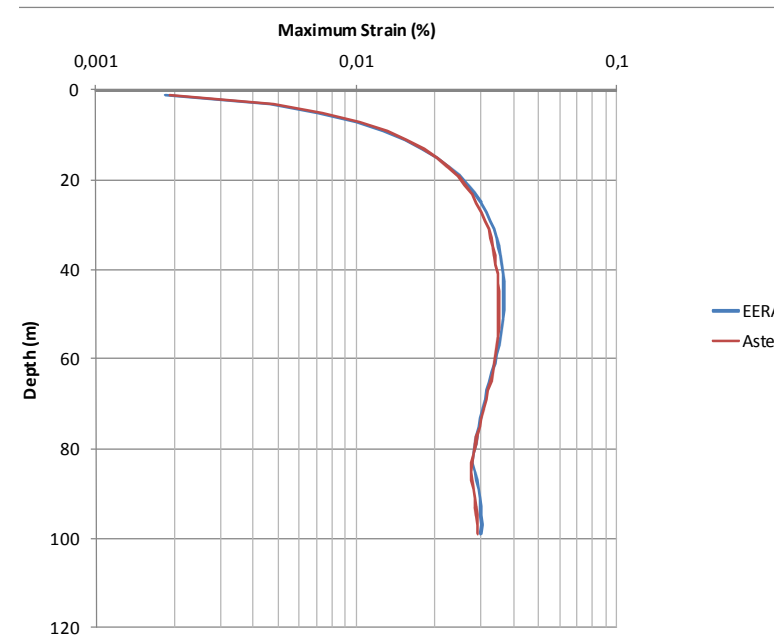
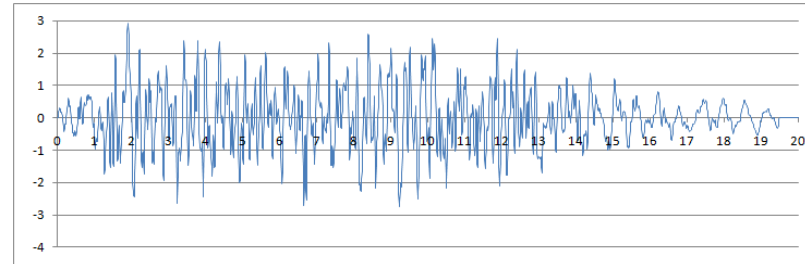
CEIDRE/TEGG
Service Géologie et Géotechnique

Didrik VANDEPUTTE

Réponse sismique d'une colonne de sol avec *Code_Aster*

Méthode linéaire équivalente

- Problématique
- Méthode linéaire Equivalente
- Résultats - Validation
- Conclusions & Perspectives



Problématique

■ Augmentation des niveaux sismiques

- PGA = 0.3 à 0.4g sur certains sites → nombreuses réévaluations à venir ..
- Influence non négligeable de la non linéarité sur la réponse du sol

■ Prise en compte du comportement non linéaire du sol

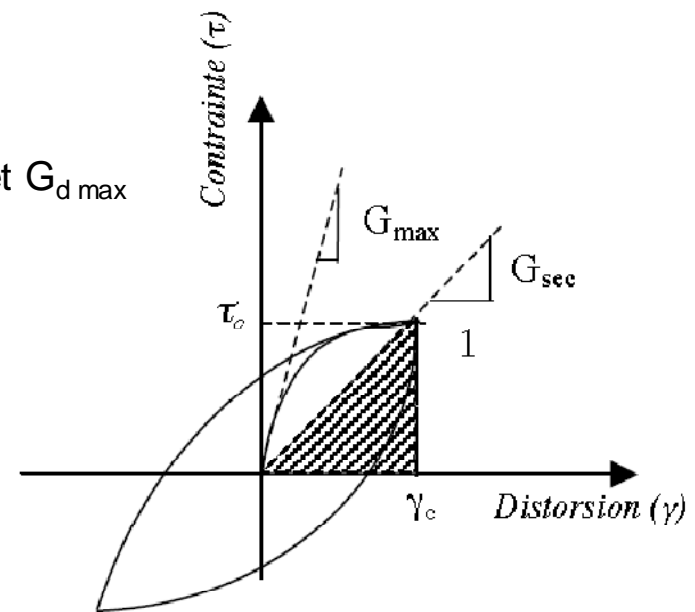
- Modèle non linéaire (Hujeux)
- Modèle linéaire équivalent (courbes G- γ)

■ Effets de la non linéarité

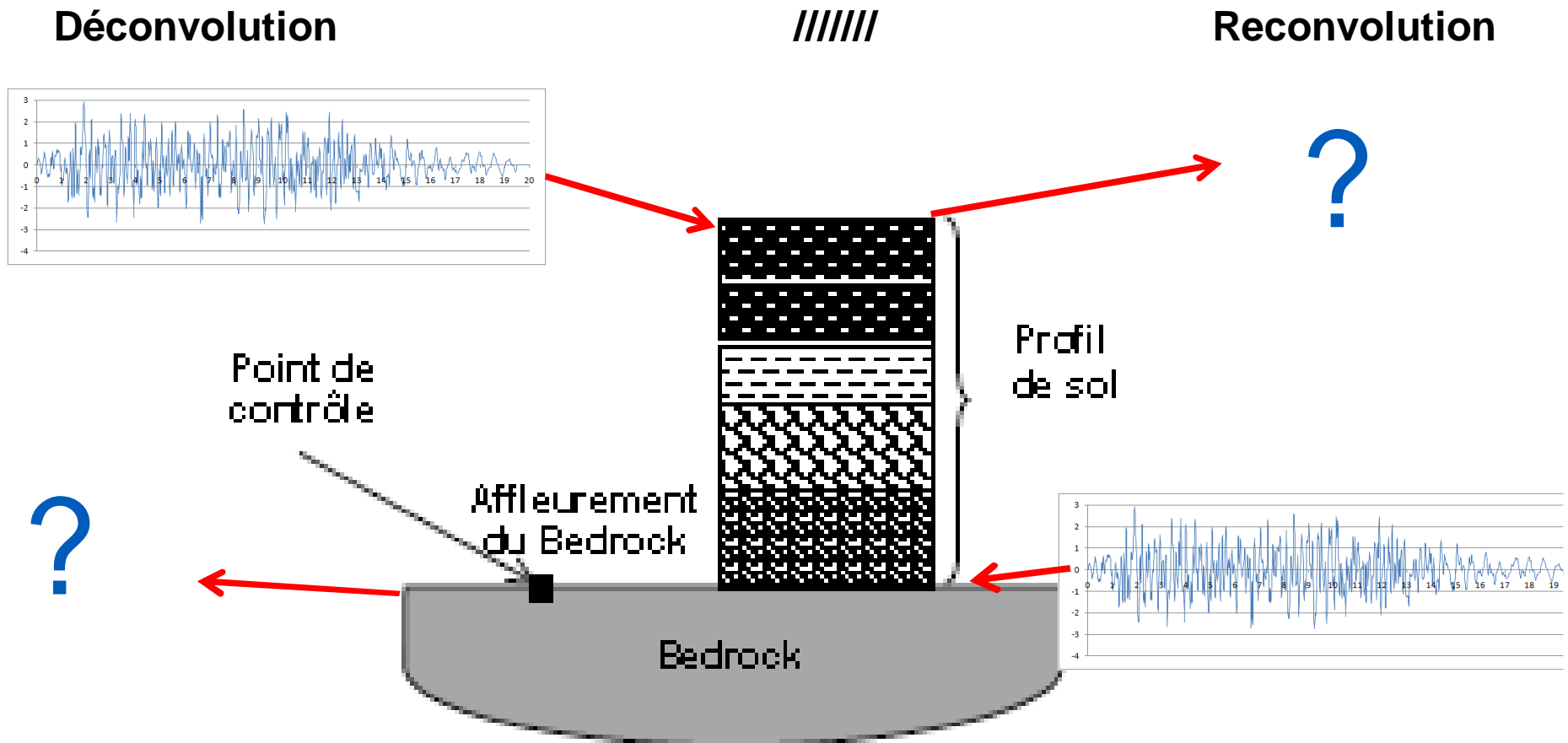
- Diminution significative des modules élastiques $E_{d\max}$ et $G_{d\max}$
- Augmentation de l'amortissement interne (hystérétique)

■ Influence significative pour :

- Calcul d'impédances des bâtiments
- Dimensionnement des puits de pompage
- Effets de site

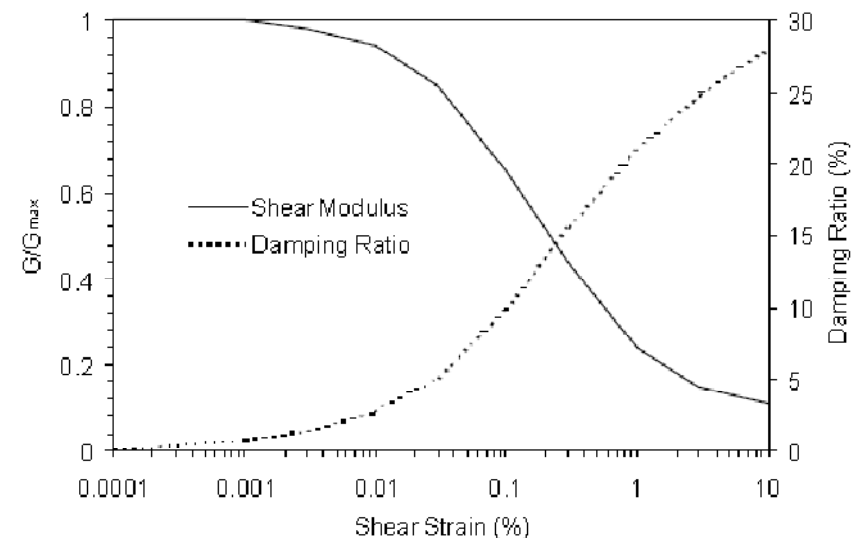
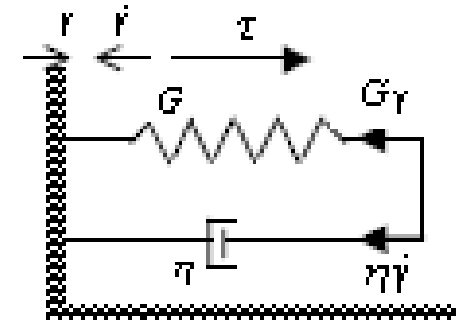


Problématique



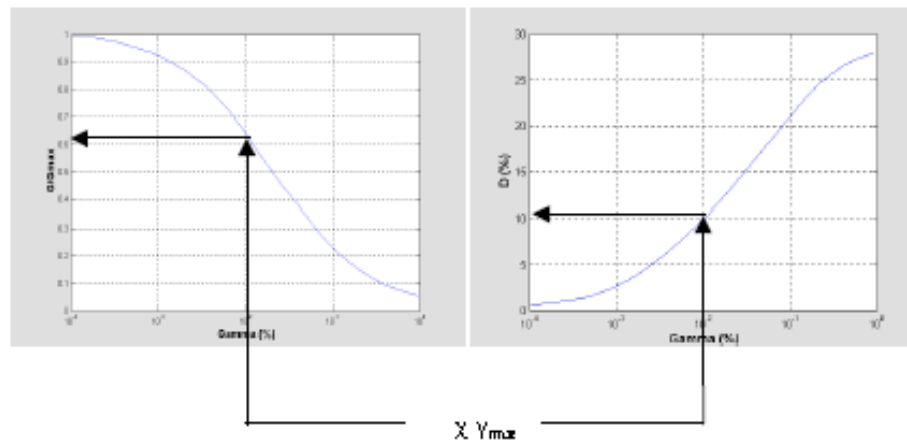
Méthode Linéaire Equivalente

- **Basée sur le modèle de Kelvin-Voigt**
 - Modélisation de l'amortissement hystérétique
- **Largement utilisée dans les études d'ingénierie**
 - Logiciels : Cyberquake, SHAKE, EERA
 - Méthode simple et efficace
- **Utilisation des courbes G- γ et D- γ**
 - Bonne approximation de la non linéarité pour des déformations jusqu'à qq 10-3
- **Implémentation dans Code_Aster**
 - Continuité de formats (Tables)
 - Caractéristiques de sol / courbes G- γ
 - Accélérogrammes
 - Etudes paramétriques (Boucles)
 - Multi accélérogrammes
 - Multi profils de sol
 - Variabilité (2/3 ; 1 ; 3/2)
 - Post traitement automatisé
 - Courbes Grace ou PDF
 - Tables



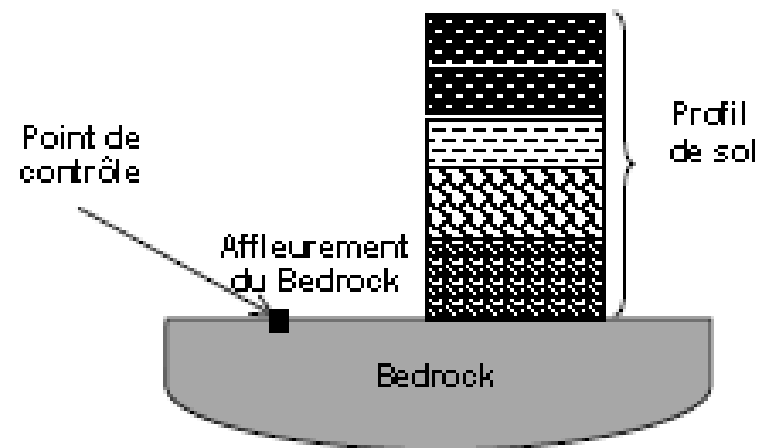
Méthode Linéaire Equivalente - Principe

- Définition pour chaque couche du profil, du module de cisaillement G et de l'AMOR_HYST (AH = 2D).
 - Résolution harmonique élastique de l'excitation par un bruit blanc à la base de la colonne posée sur un élément de Frontière Absorbante (Rocher Affleurant).
 - Calcul de la fonction de transfert selon le cas traité : Déconvolution ou Reconvolution.
 - Evaluation dans chaque couche de la déformation de cisaillement $\gamma(t)$ au cours du chargement temporel en utilisant les FFT et les FFT⁻¹.
 - A partir des courbes G-g et D-g, détermination dans chaque couche des valeurs associées à la valeur moyenne $\gamma_m = 0.65 \gamma_{max}$.
 - Comparaison avec les modules obtenus à l'étape n-1
- Reprise de la boucle jusqu'à convergence (5%)



Méthode Linéaire Equivalente - Modélisation

- **Calcul harmonique d'une colonne de sol (Georges Devesa)**
 - Modèle 2D (QUA4 avec modélisation D_PLAN et condition de périodicité sur les bords)
 - Frontière Absorbante à la base
 - Excitation par un bruit blanc à la base (Rocher affleurant)
 - Calcul des fonctions de transfert entre le Rocher Affleurant et le Champ Libre
- **Calcul de la réponse temporelle**
 - CALC_CHAMP pour obtenir $\gamma(f)$ dans chaque couche
 - Multiplication par FFT du signal d'entrée
 - FFT-1 pour évolutions temporelles et maximums
- **Boucles Python**
 - Itération sur convergence des modules dégradés
 - Etudes multi-paramètres
 - Post-traitements (profils max, spectres,..)

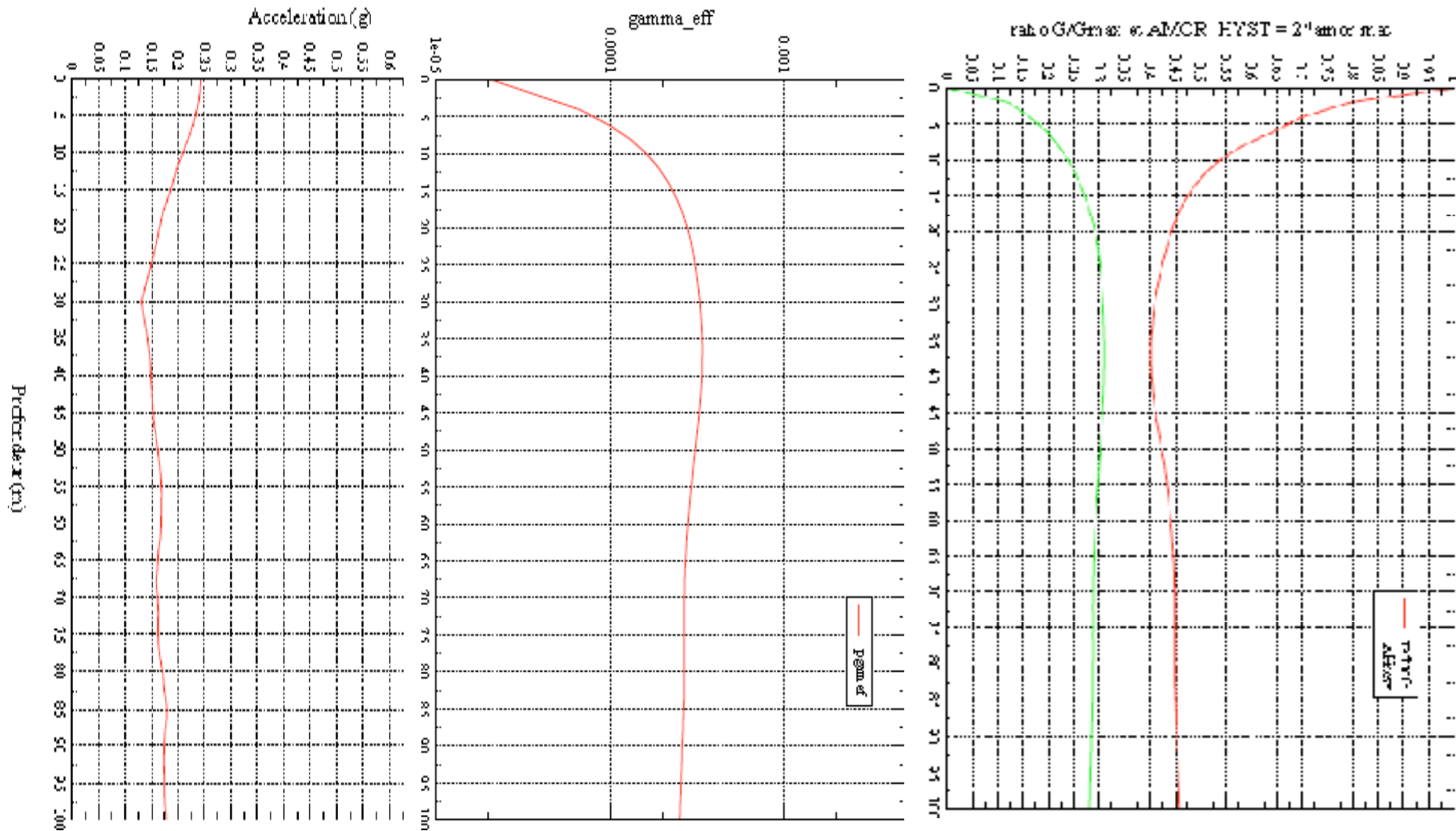


Méthode Linéaire Equivalente - Validation

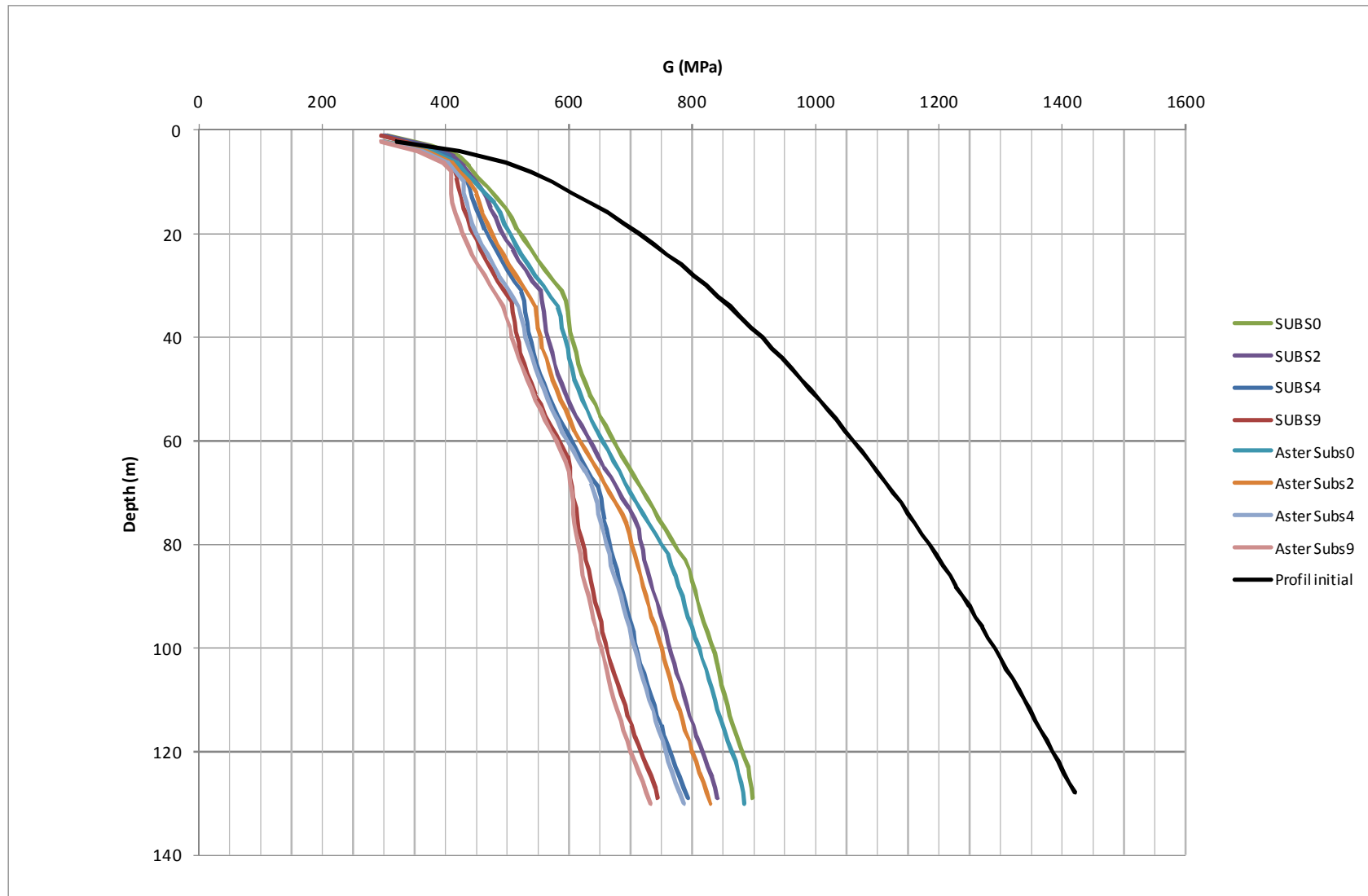
- **Reconvolution sur colonne d'alluvions sablo-graveleux**
 - Hauteur 130m (65 mailles de 2m)
 - Vs variable de 380 à 800 m/s
 - Courbes G- γ et D- γ issues de Seed (1986)
 - Accélérogramme EDF 0.3g et EUR 0.3g
 - Sensibilité sur la rigidité du substratum

- **Comparaison avec les résultats donnés par EERA et Cyberquake**
 - Profils d'accélération
 - Profils de déformations max
 - Profils d'amortissement
 - Spectre de sol reconvolué
 - Accélérogramme dans la colonne

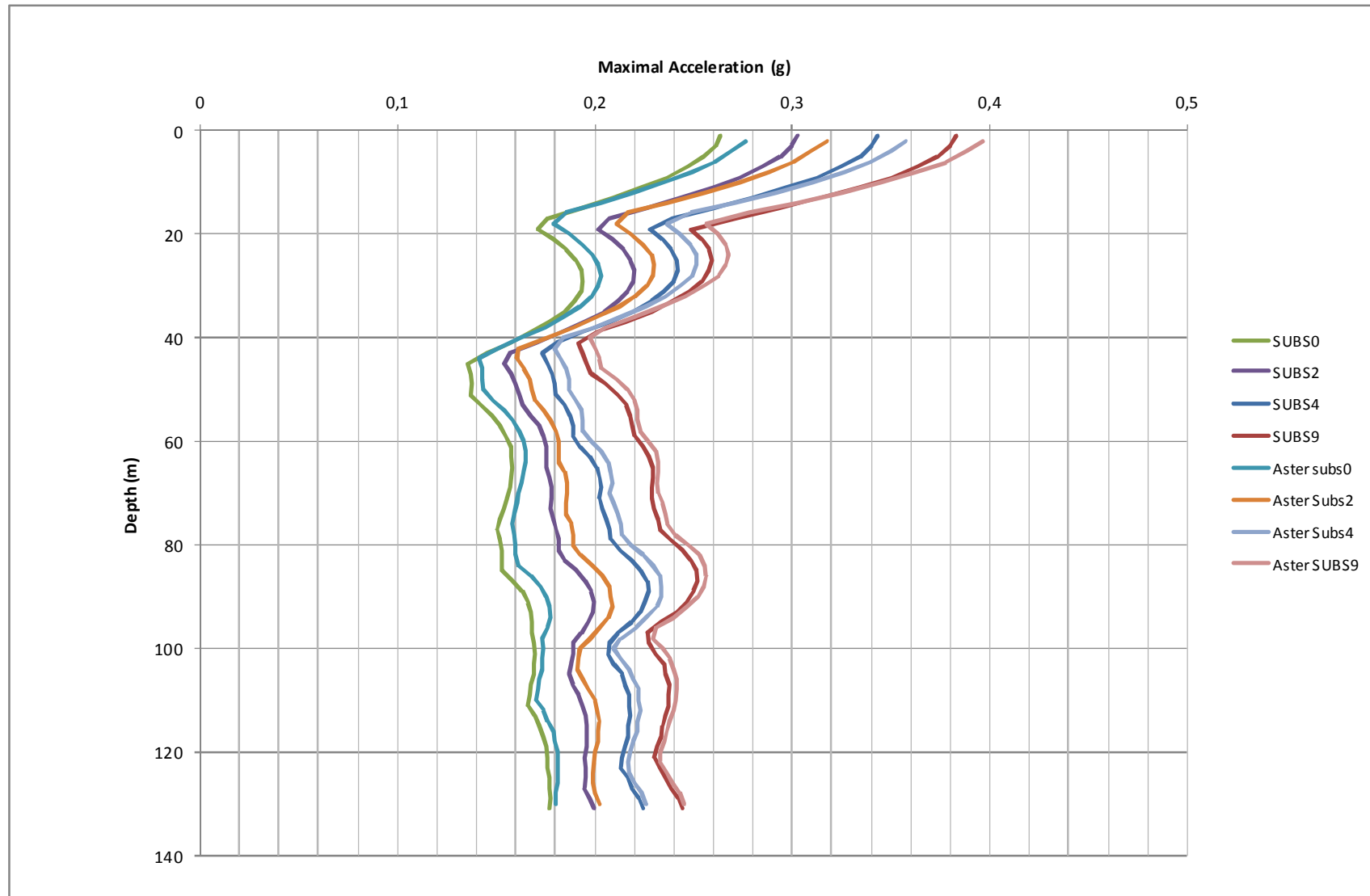
Méthode Linéaire Equivalente - Résultats



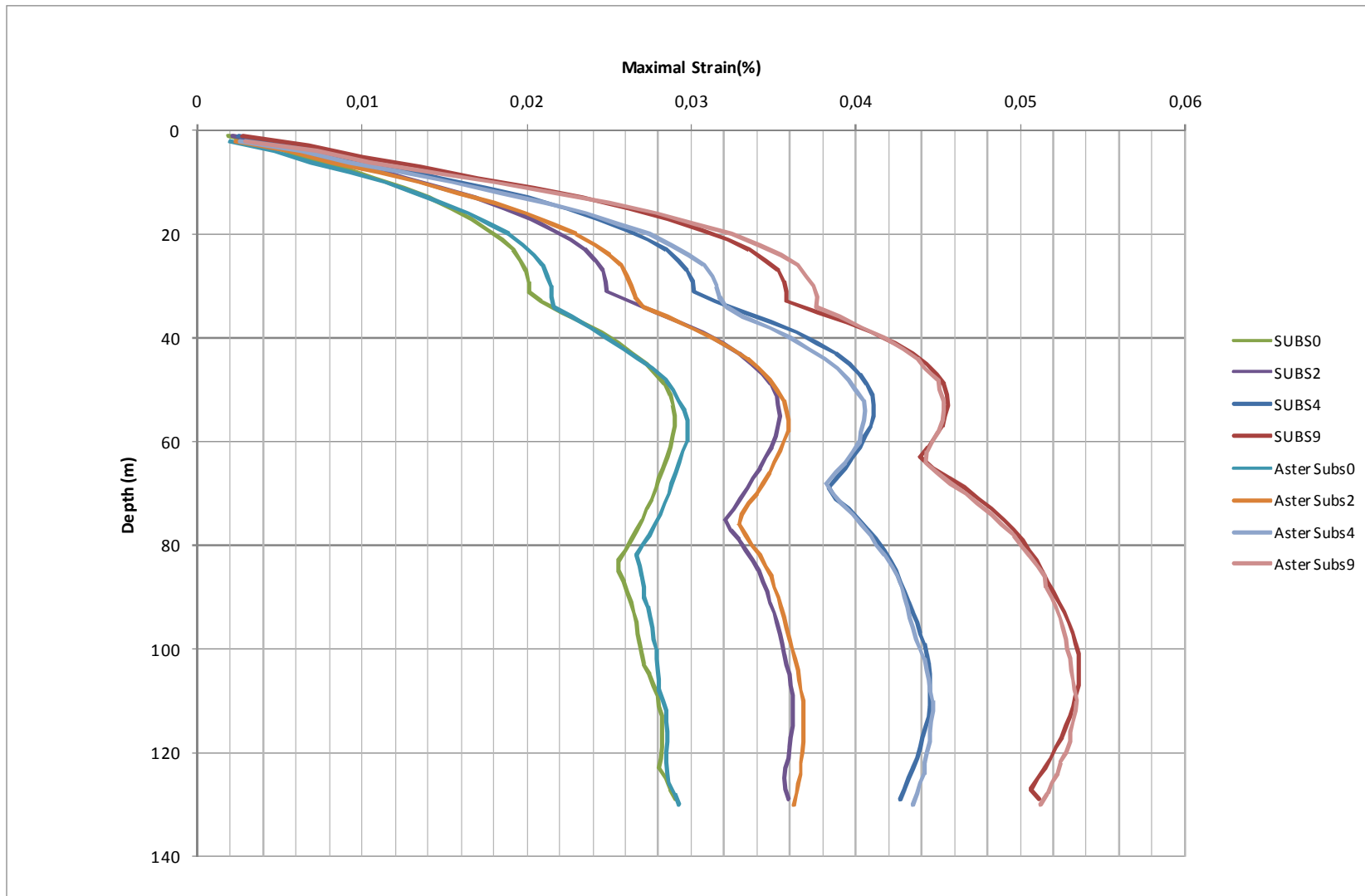
Méthode Linéaire Equivalente - Validation



Méthode Linéaire Equivalente - Validation

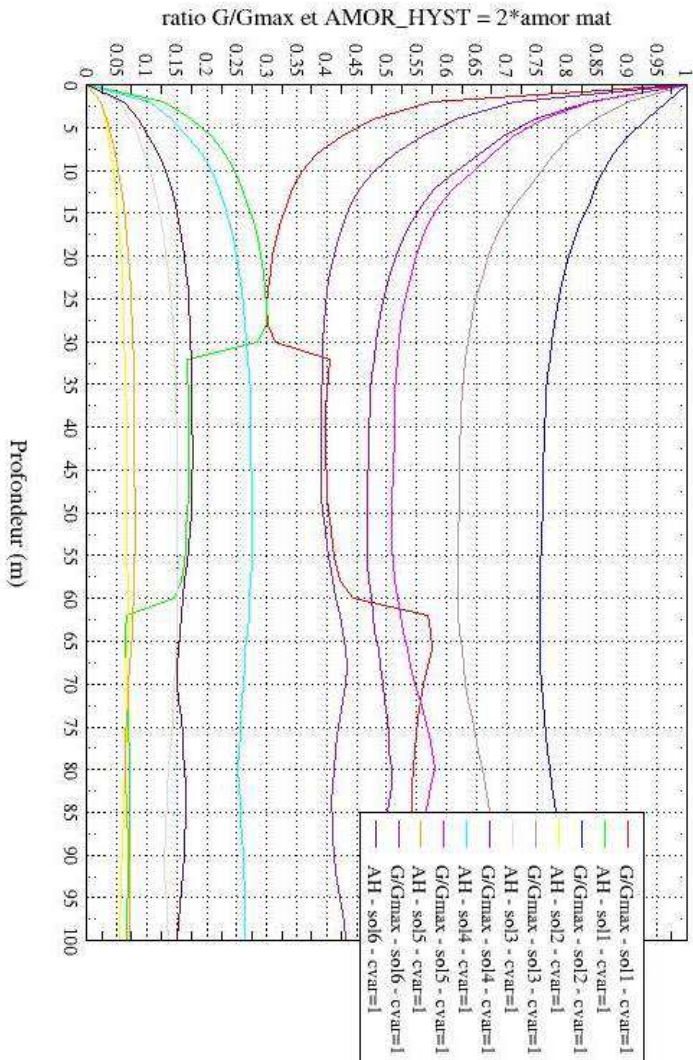


Méthode Linéaire Equivalente - Validation

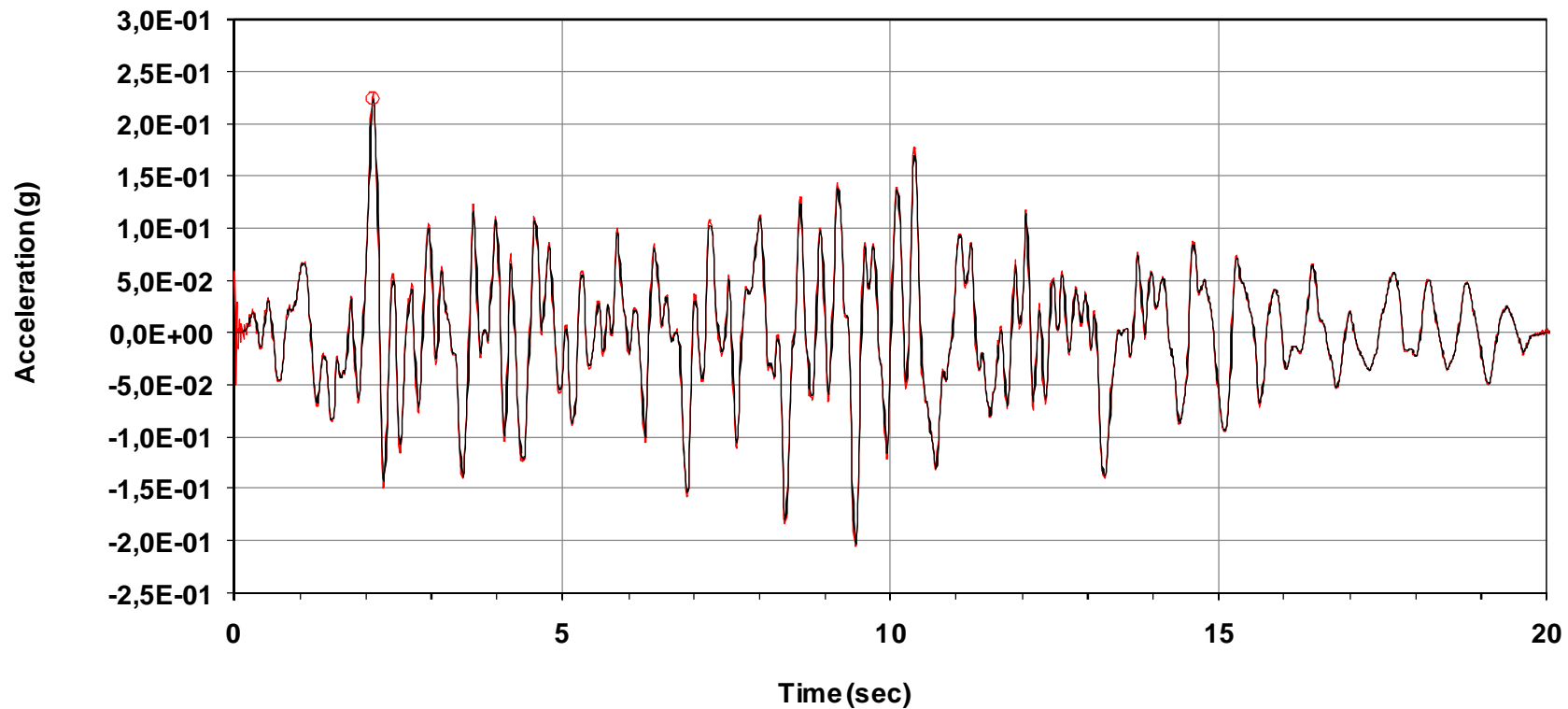


Méthode Linéaire Equivalente - Validation

Reduction de module et amortissement hysteretique avec la profondeur
Etude parametrique multi-profil

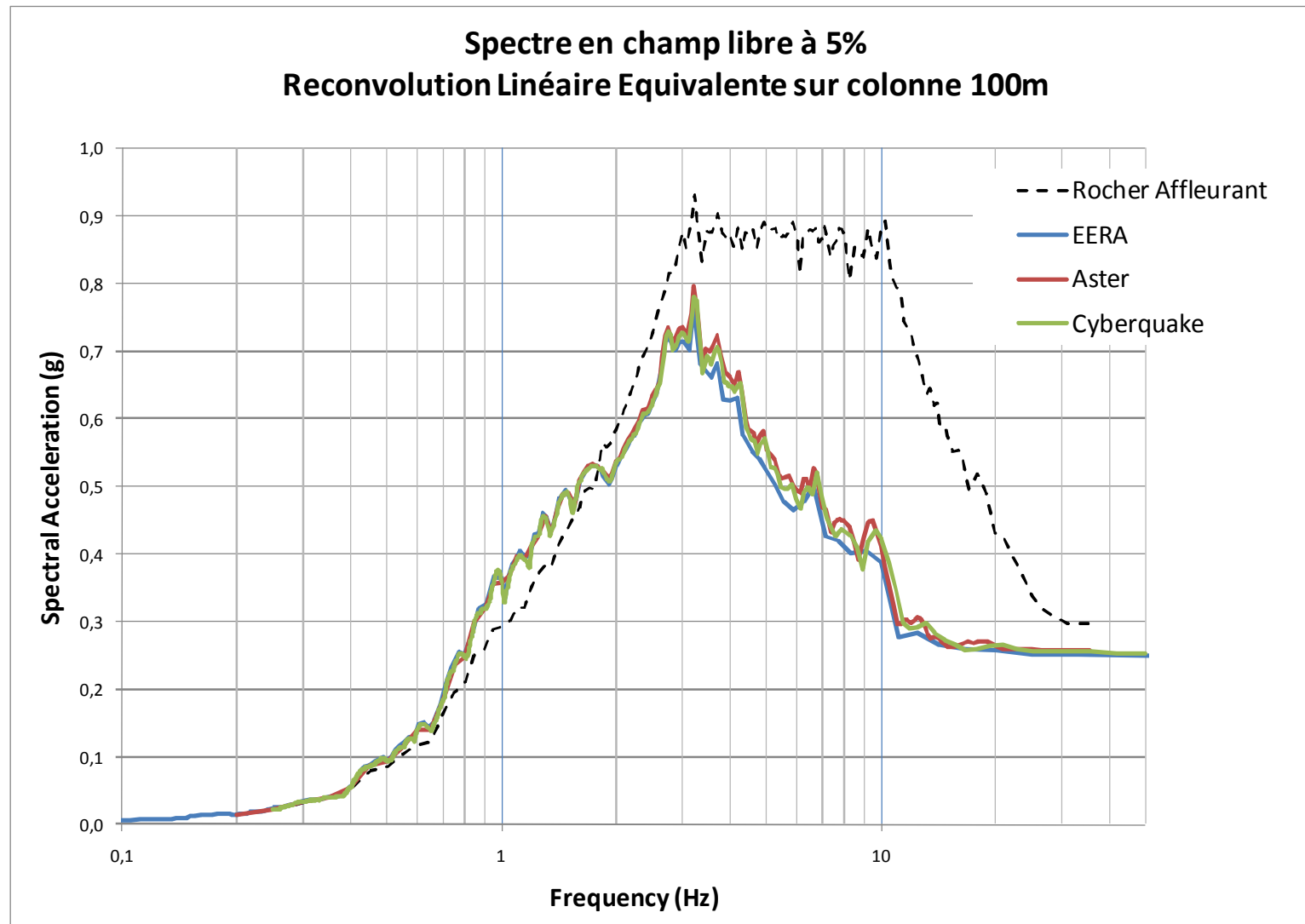


Méthode Linéaire Equivalente - Validation



Comparaison de l'accélérogramme obtenu à -10m avec Code_Aster (rouge) et EERA (noir)

Méthode Linéaire Equivalente - Validation



Conclusion et Perspectives

■ **Implémentation de la méthode linéaire équivalente dans Code_Aster**

- *Méthode d'ingénierie très utilisée*
- *Validée par la comparaison avec des codes de calculs similaires (Cyberquake, EERA)*
- *Ergonomie des formats d'entrée-sortie (Tables / Excel)*
- *Post traitement automatisé*
- *Possibilité de lancer des études paramétriques*

■ **Perspectives**

- *Colonne de sol 1D avec mailles volumiques pour prise en compte des 3 directions de séisme*
- *Calculs d'effets de site 1D ou 2D avec variabilité (accélérogrammes, profils de sol)*
- *Enchaînement avec MISS3D (DEFI_SOL_MISS) pour calculs d'impédances*
- *Reconvolution des accélérogrammes sur des modèles de sol + structure en 2D ou 3D avec ISS non linéaire*

Résultats statiques et dynamiques

