

PROPAGATION D'UNE ONDE DE CISAILLEMENT EN MILIEU NON-LINEAIRE DISSIPATIF

Denis JEAMBRUN

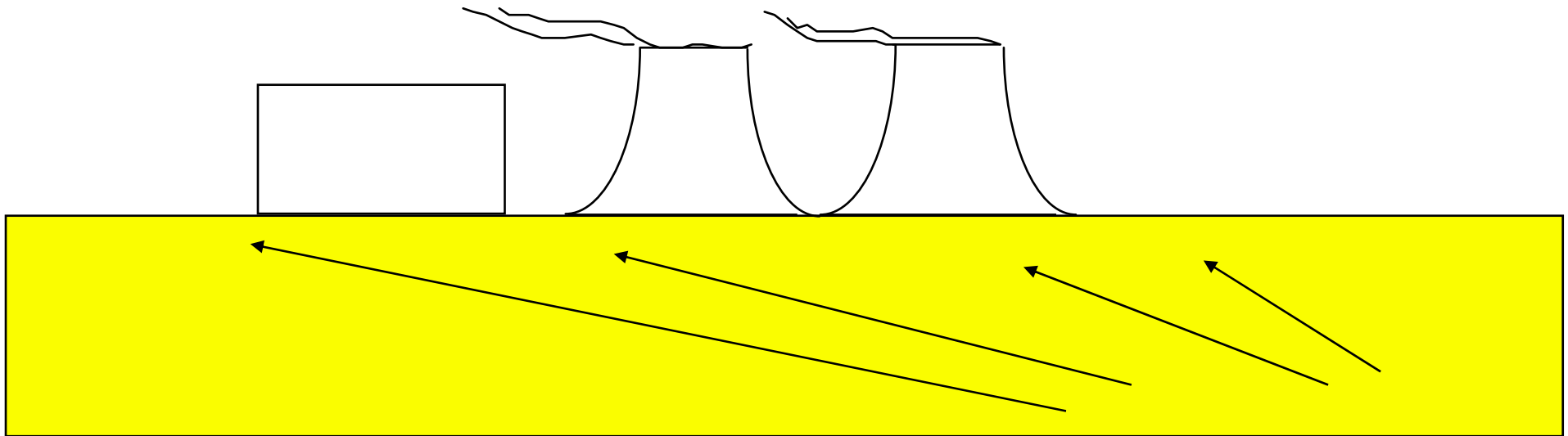
Collaborations

- ▼ *Électricité De France*
Service Études et Projets Thermiques et Nucléaires
- ▼ *Dynamique et Thermodynamique de Milieux Complexes*
- ▼ *Centre d'Électronique de Montpellier*

Plan

- ▼ **Introduction**
- ▼ **Environnement de l'étude**
 - ↳ Système Harmonique Sismique
 - ↳ Modèles
- ▼ **Problèmes numériques**
 - ↳ Opérateurs non linéaires différentiables
 - ↳ Opérateur non linéaire non différentiable
 - ↳ Frontières
- ▼ **Applications**
 - ↳ Calcul linéaire élastique $\Rightarrow G_0$
 - ↳ Calcul non linéaire dissipatif $\Rightarrow \alpha$
- ▼ **Conclusion**

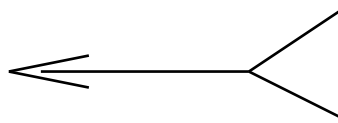
Introduction



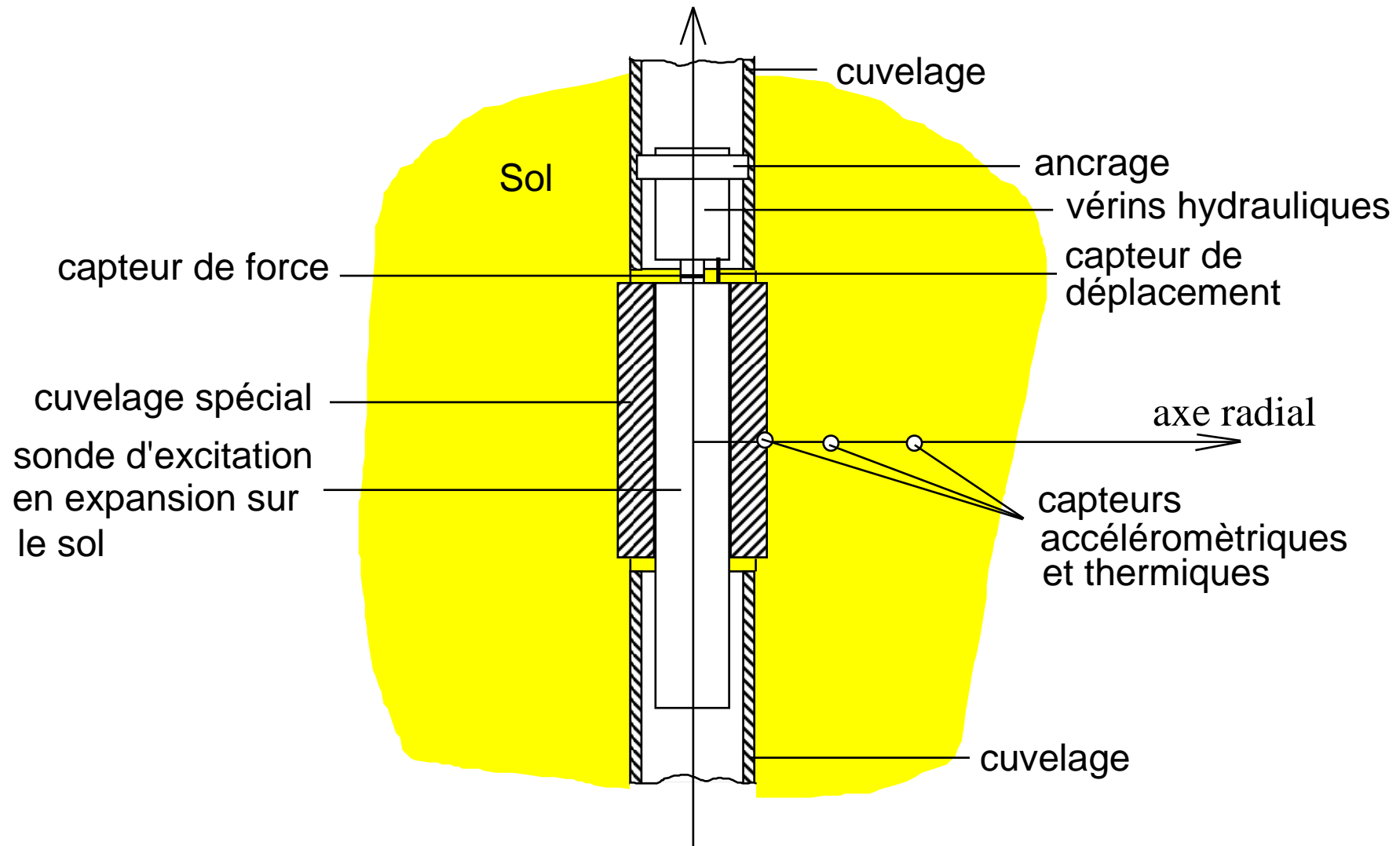
- amortissement géométrique
- **amortissement interne**

Expérimentation

Simulation



Systeme Harmonique Sismique (S.H.S.)

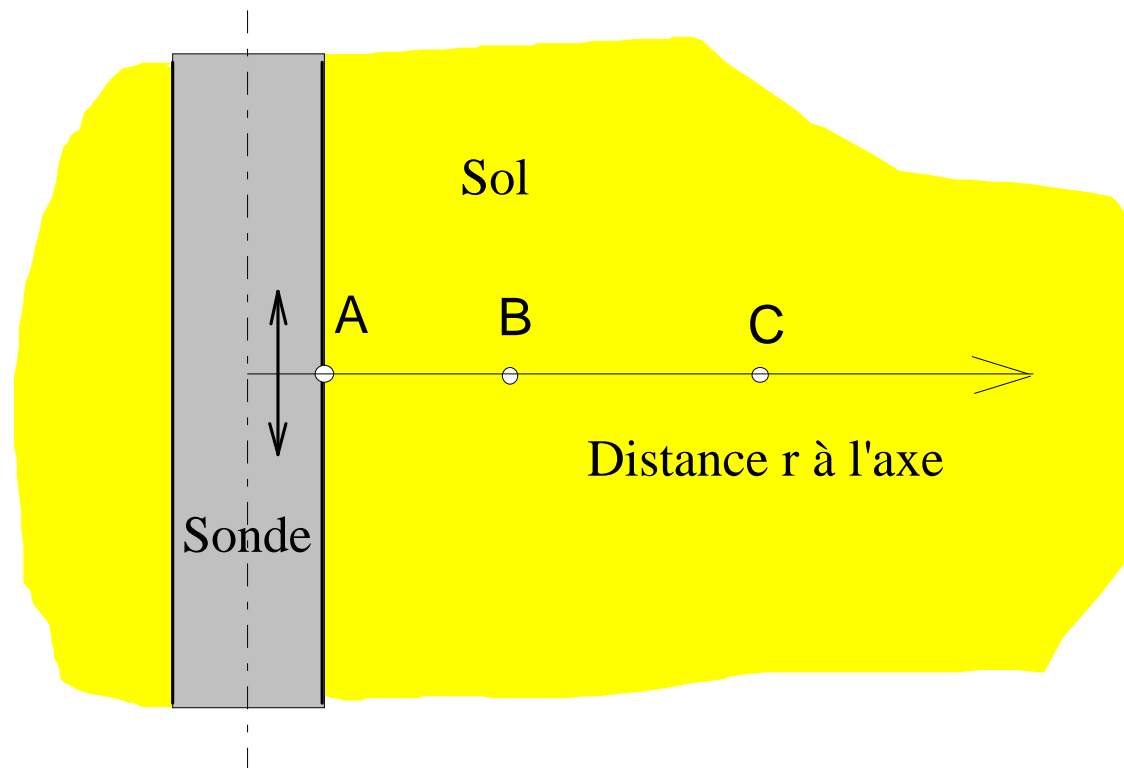


Mesures

- ▼ Accélération
 - ▼ Température
 - ▼ Déplacement au puits
 - ▼ Force au puits
 - ▼ Vitesse en cross-hole
-) \Rightarrow Impédance mécanique

Hypothèses

- ▼ Sol homogène et isotrope
- ▼ Adhérence sonde-sol parfaite
- ▼ Sonde infiniment longue



Modèles cylindriques 1 D

- ▼ Relation fondamentale de la mécanique

$$\frac{\partial \tau(r, t)}{\partial r} + \frac{\tau(r, t)}{r} - \rho \frac{\partial^2 w(r, t)}{\partial t^2} = 0$$

- ▼ Loi de comportement

$$\tau(r, t) = f(\gamma(r, t))$$

avec
$$\gamma(r, t) = \frac{\partial w(r, t)}{\partial r}$$

Comportements

▼ Linéaire

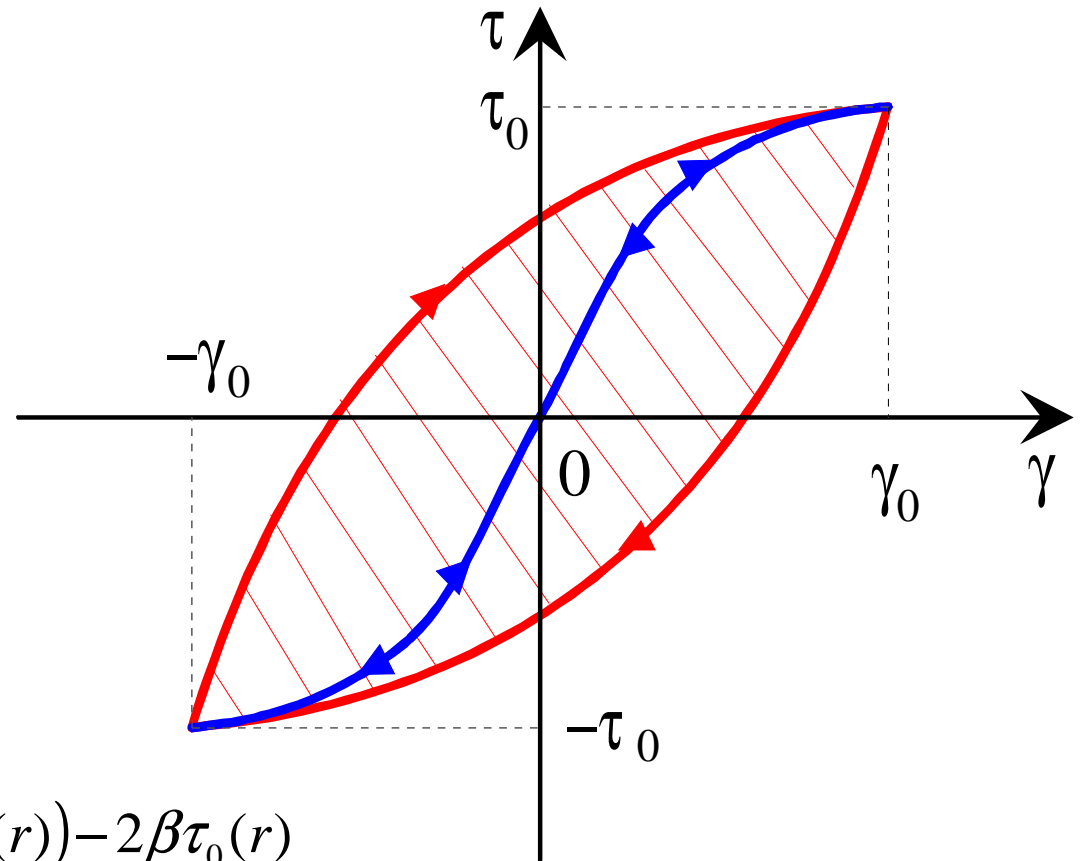
$$\tau(r, t) = G_0 \gamma(r, t)$$

▼ Non linéaire élastique

$$\tau(r, t) = \frac{G_0 \gamma(r, t)}{1 + \alpha |\gamma(r, t)|}$$

▼ Non linéaire dissipatif

$$\tau(r, t) = \frac{(2G_0 - \alpha \tau_0(r))(\gamma(r, t) + \beta \gamma_0(r)) - 2\beta \tau_0(r)}{2 + \alpha \beta (\gamma(r, t) + \beta \gamma_0(r))}$$



Opérateurs non linéaires différentiables

Discrétisation temporelle

- Schéma de Houbolt
- Schéma de Newmark-Wilson

Discrétisation spatiale

- Pas constants
- Pas variables

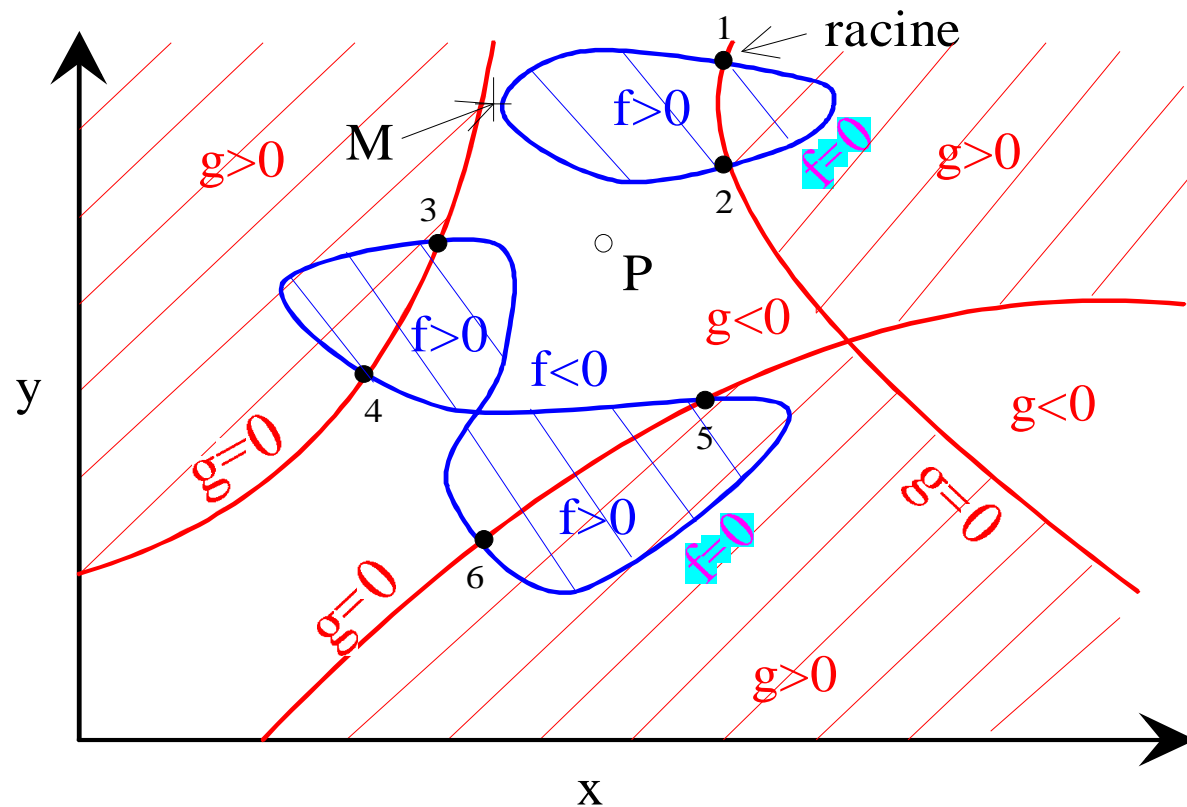
Résolution non linéaire

- Jacobi, Gauss-Seidel
- Newton-Raphson

Convergence d'un système non linéaire

Exemple:

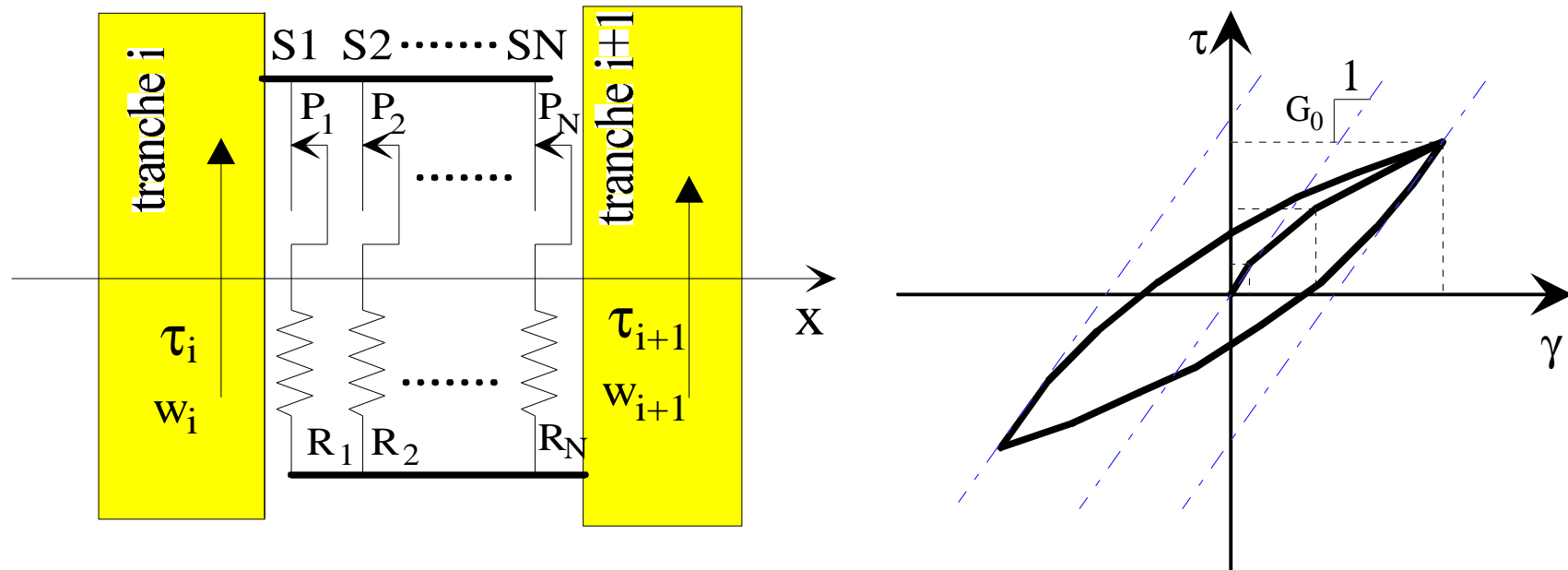
$$\begin{cases} f(x, y) = 0 \\ g(x, y) = 0 \end{cases}$$



Opérateur non linéaire, non différentiable

Hystérésis et discontinuités

Modèle rhéologique



Discontinuités (ondes planes)

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta \tau}{\Delta x} = \frac{\partial \tau}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial x} = \rho \ddot{w}$$

Conditions à la frontière

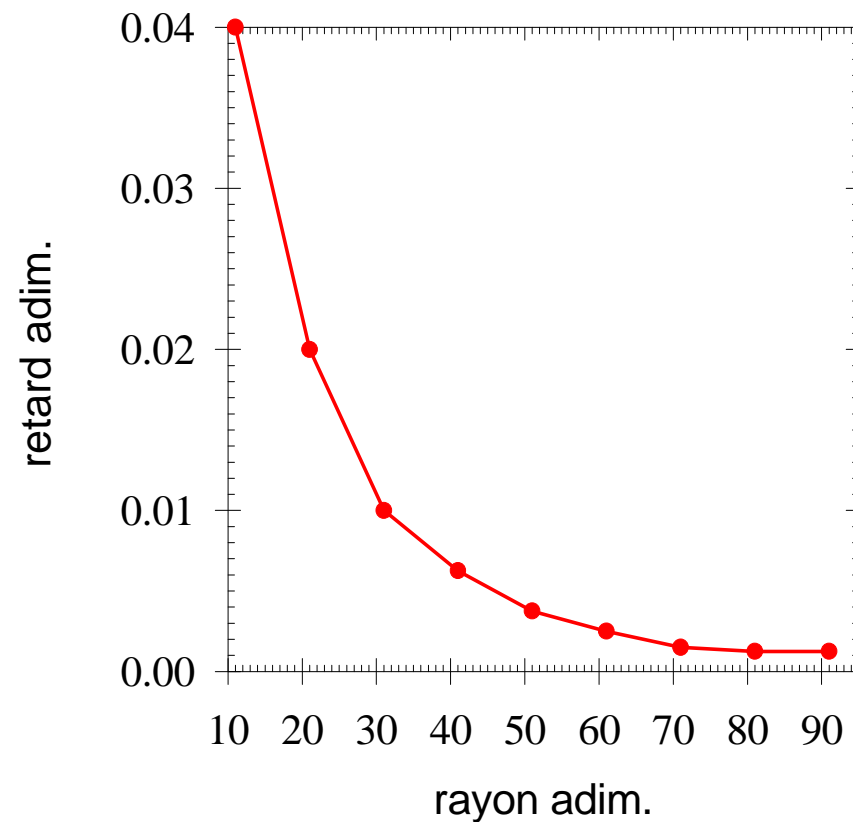
- ▶ Méthodes fréquentielles

- ▶ Frontières absorbantes

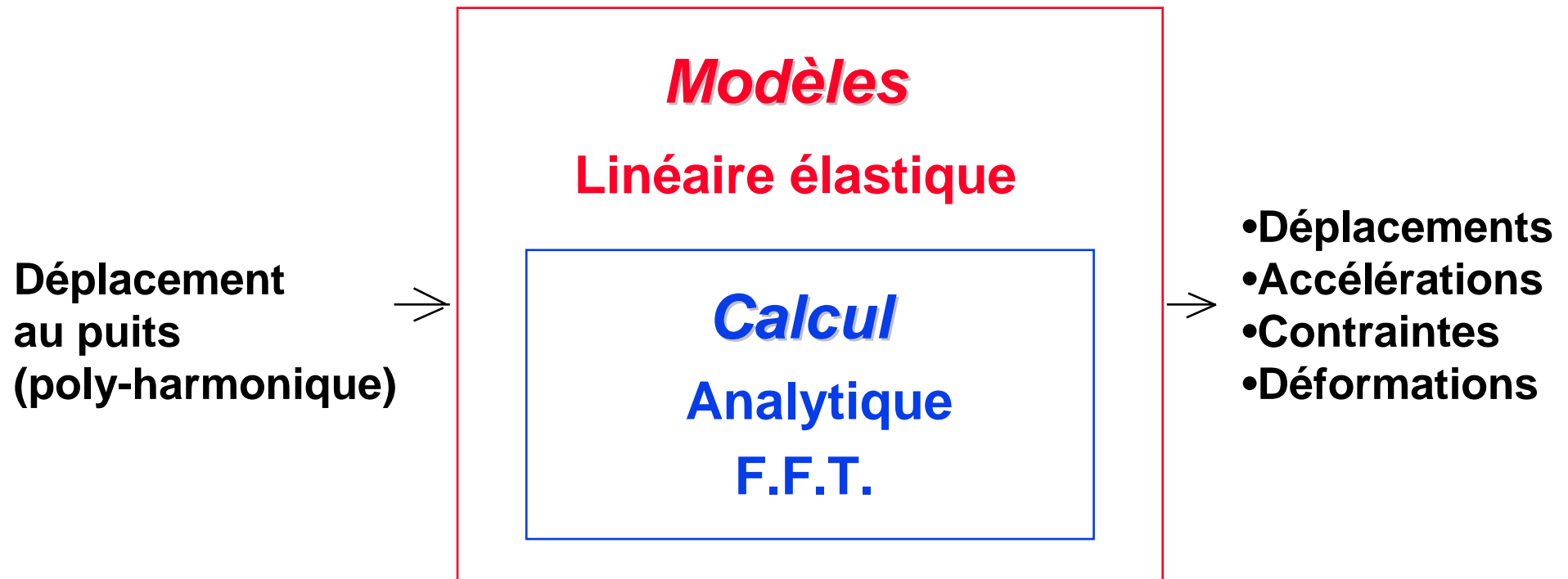
- ▶ Autres possibilités

- ↪ Déplacement nul

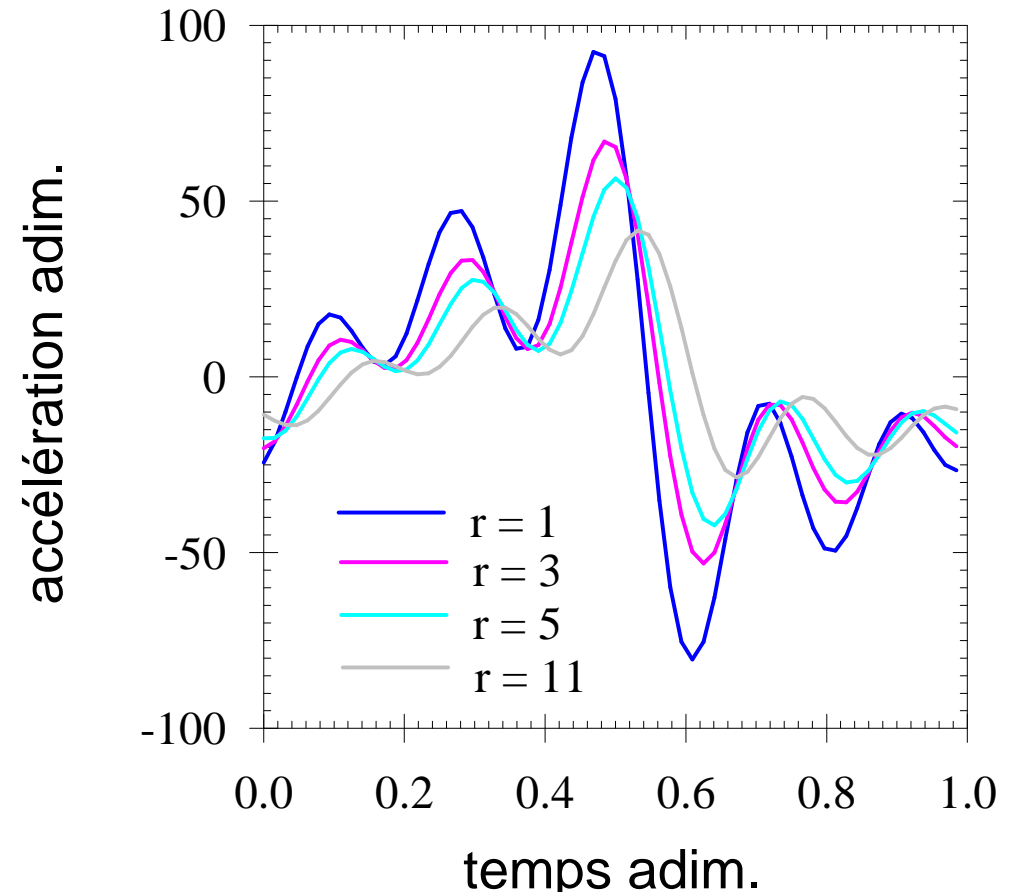
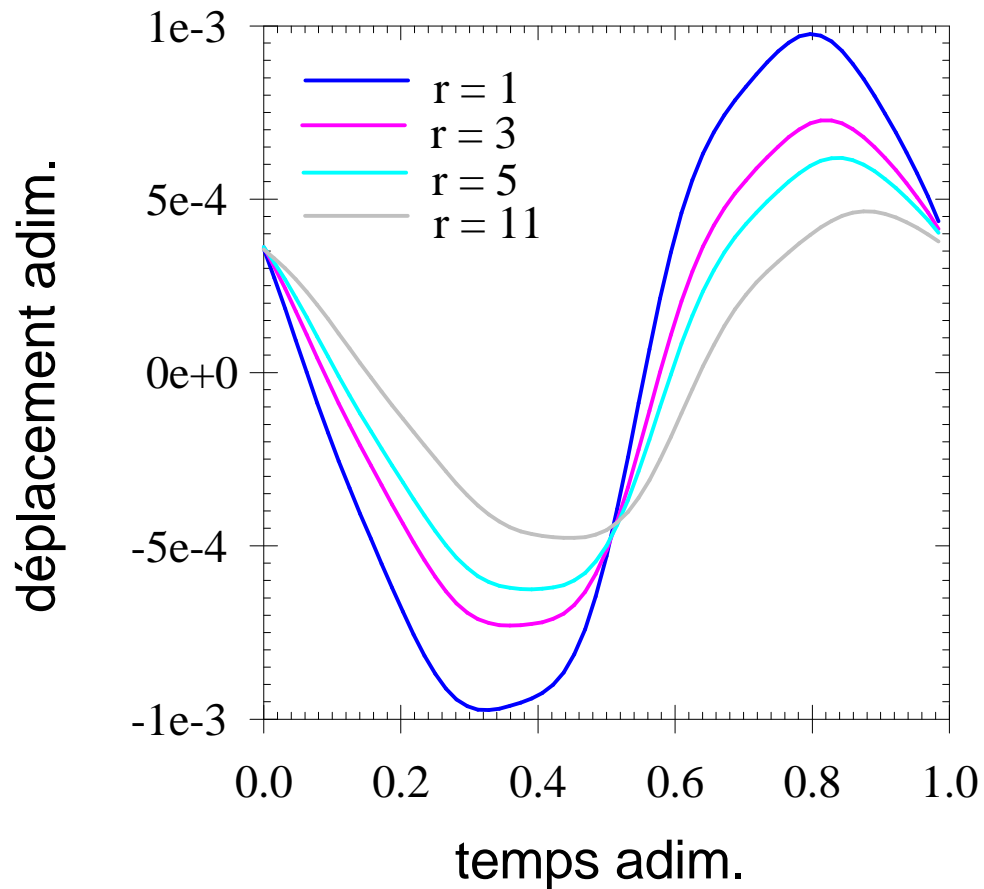
- ↪ Déformation nulle



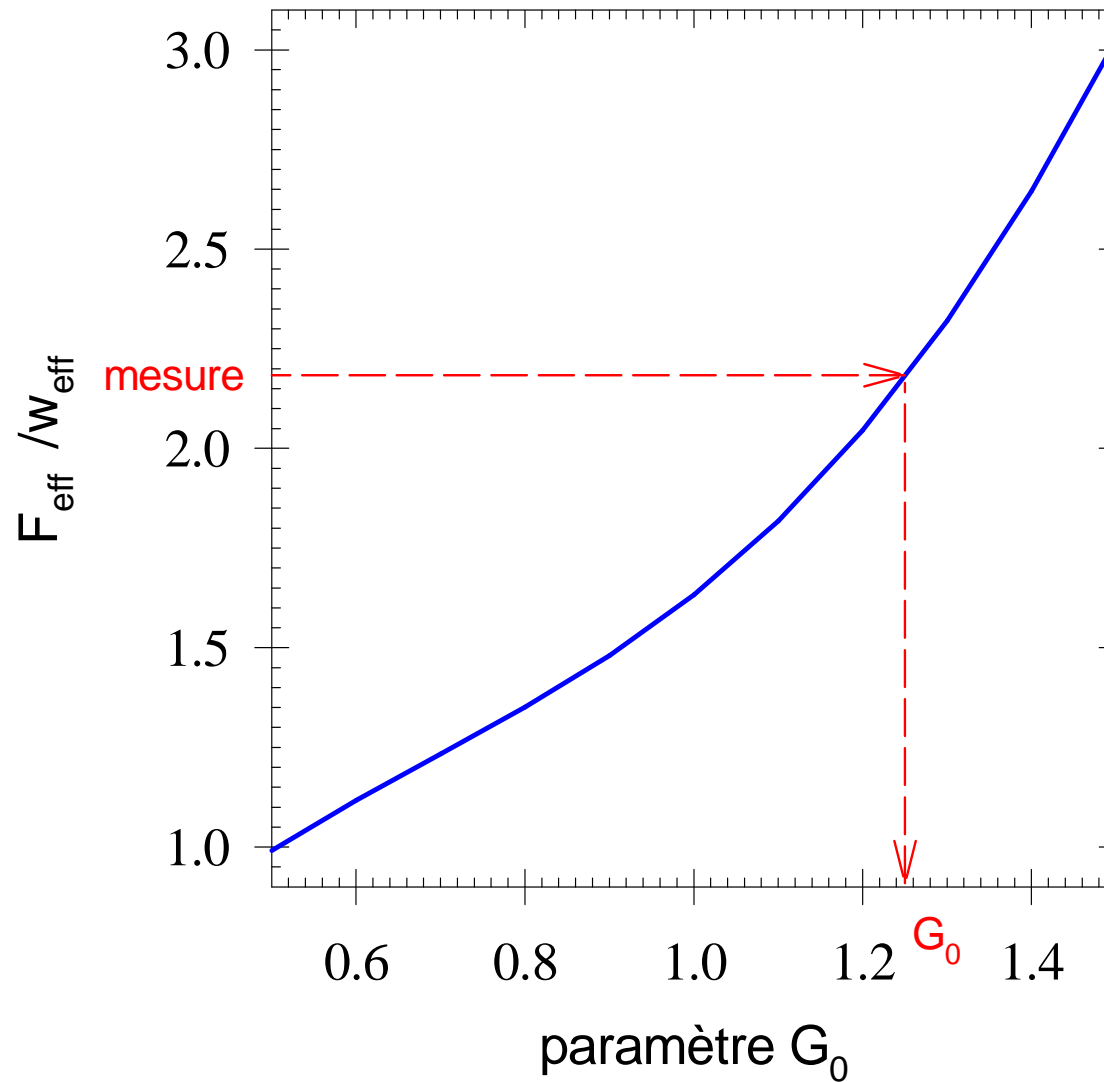
Application 1: Calcul élastique linéaire



Simulation Linéaire élastique



Simulation Linéaire élastique



Application 2:

Calcul non linéaire dissipatif

Modèles

**Non-linéaire dissipatif
(Non-linéaire élastique)**

Discrétisations

**Espace: différences finies à pas variables
Temps: schéma de Newmark-Wilson (a, b, θ)**

Résolution non linéaire

Processus de Newton-Raphson

Frontière absorbante

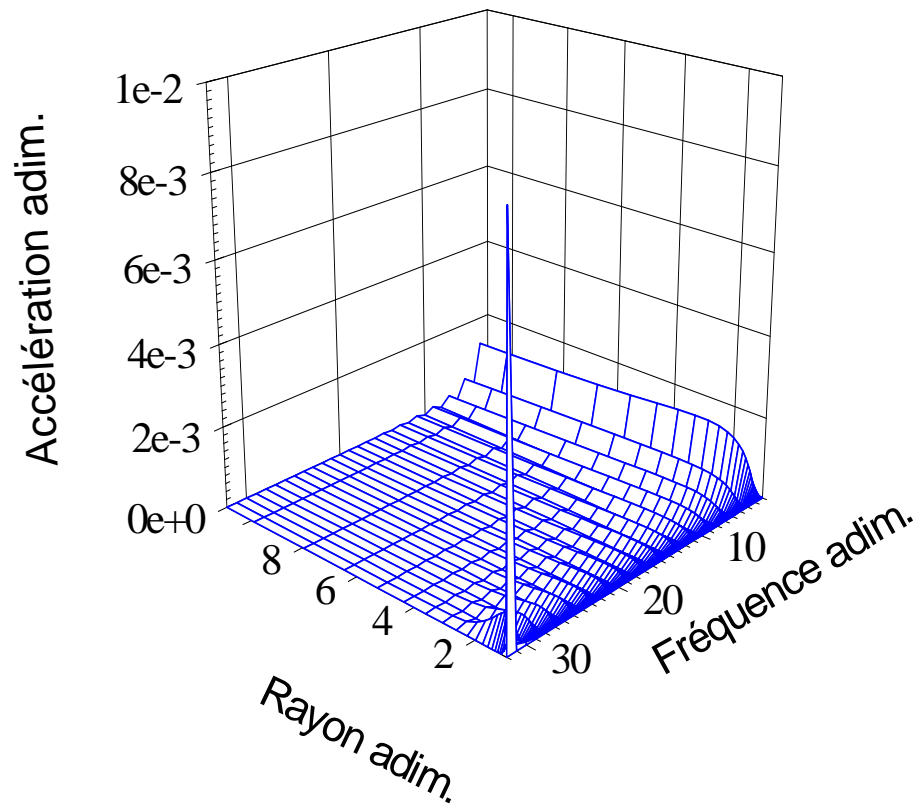
**Déplacement
au puits
(poly-harmonique)**



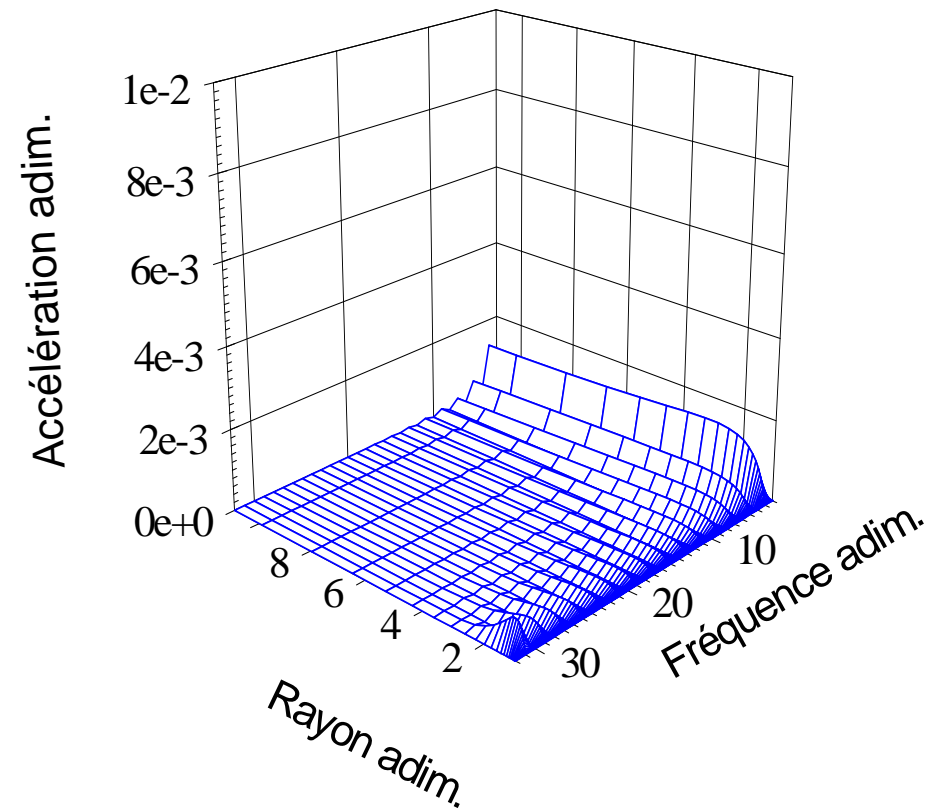
- Déplacements
- Vitesses
- Accélérations
- Contraintes
- Déformations
- Impédance

Sensibilité Paramètre de Wilson

$\theta = 1,0001$

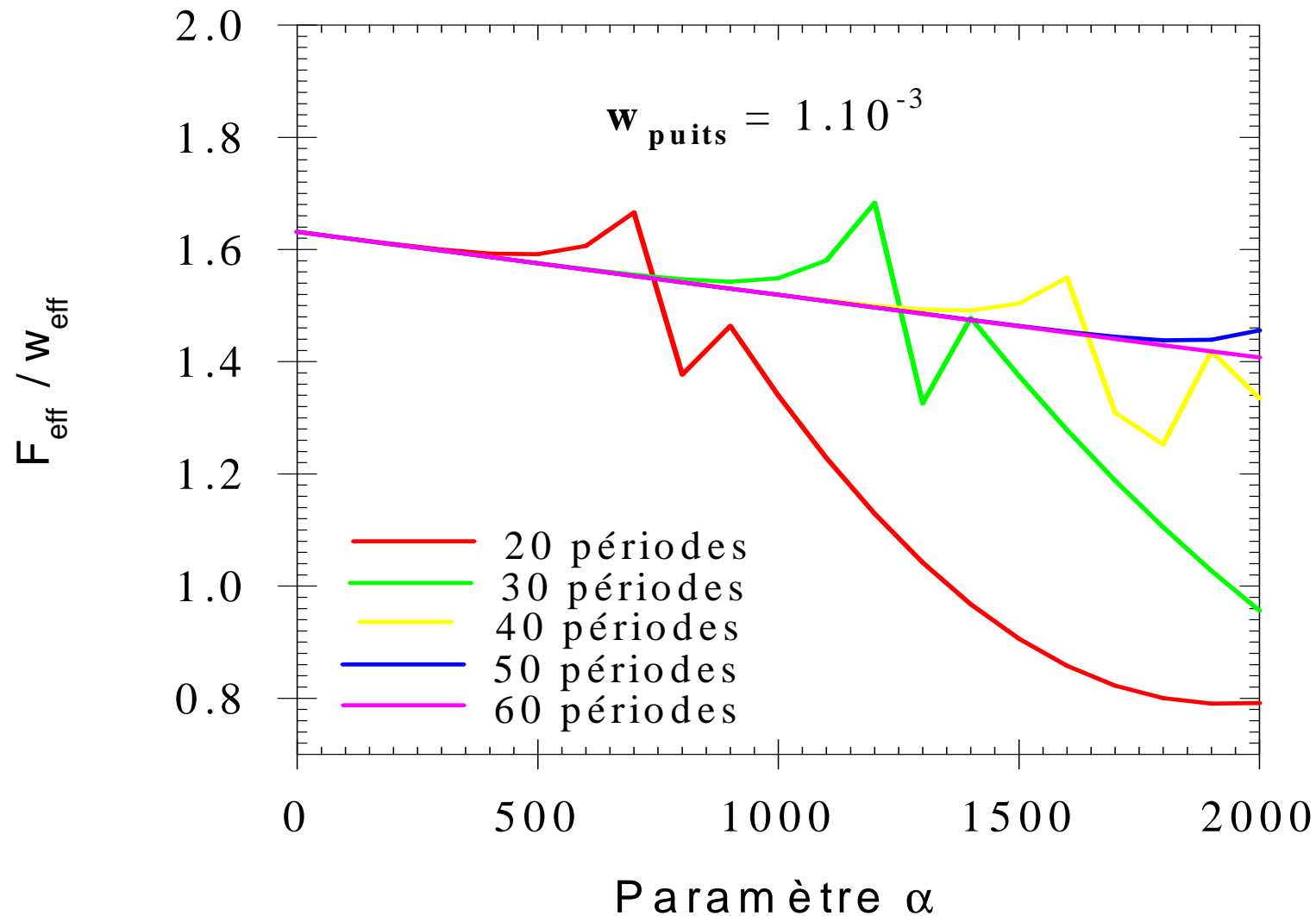


$\theta = 1,001$

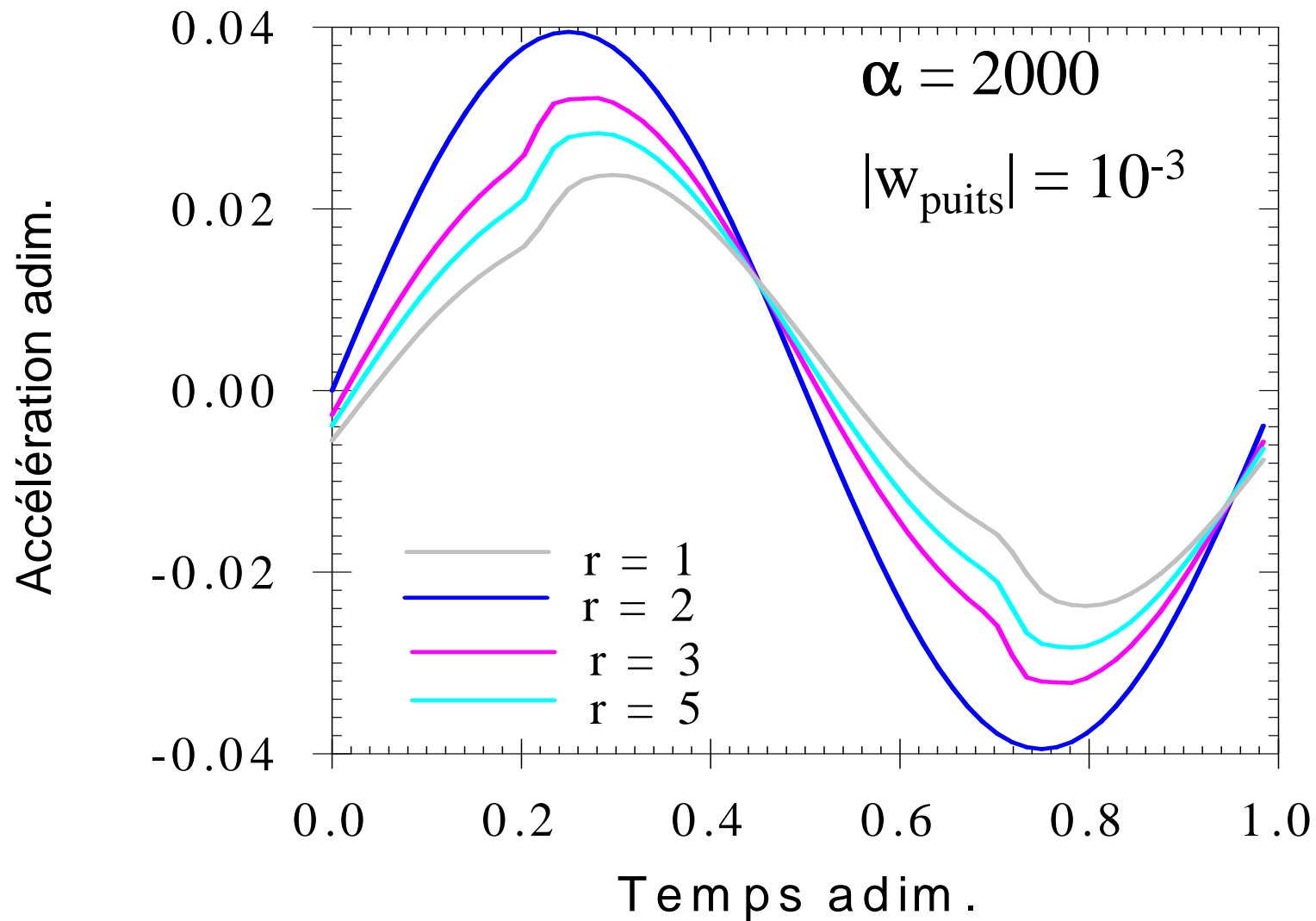


Sensibilité

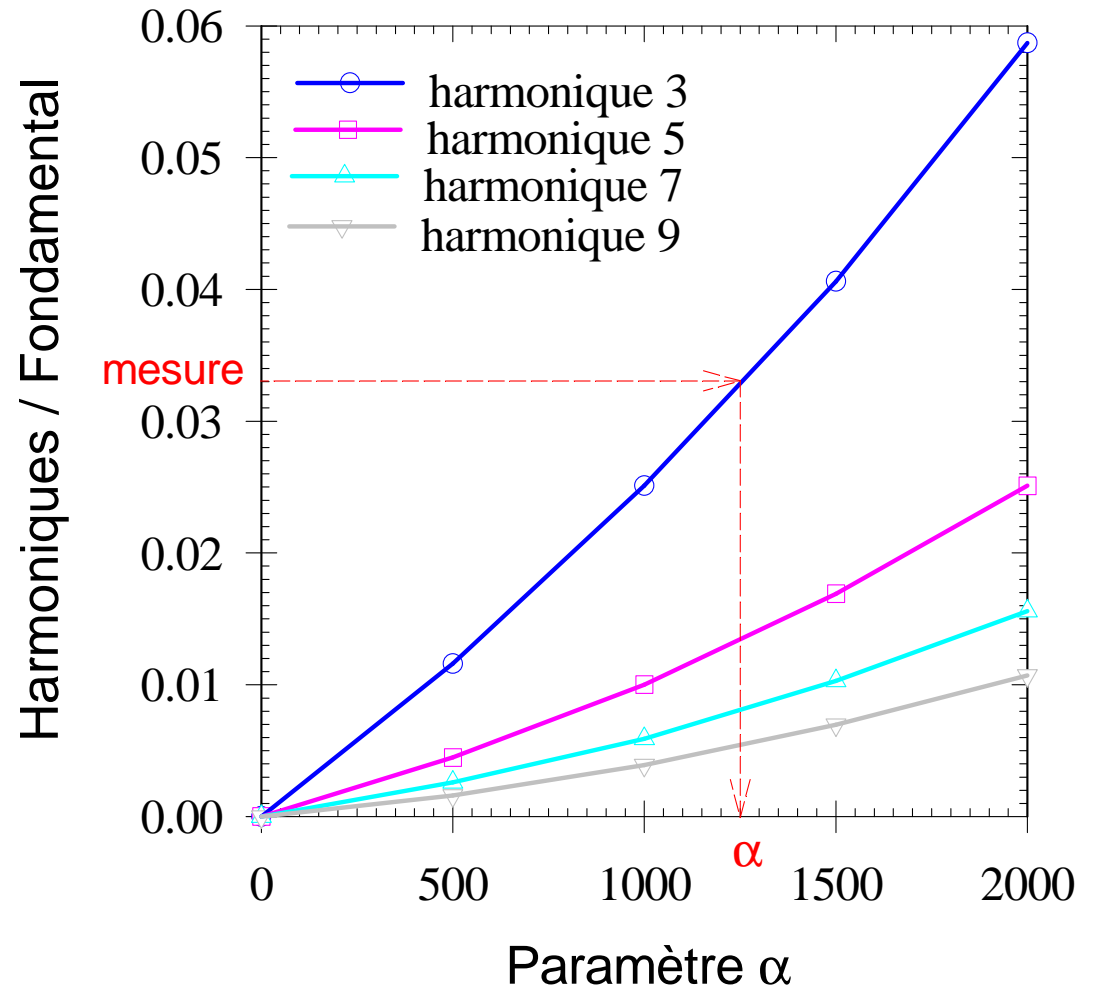
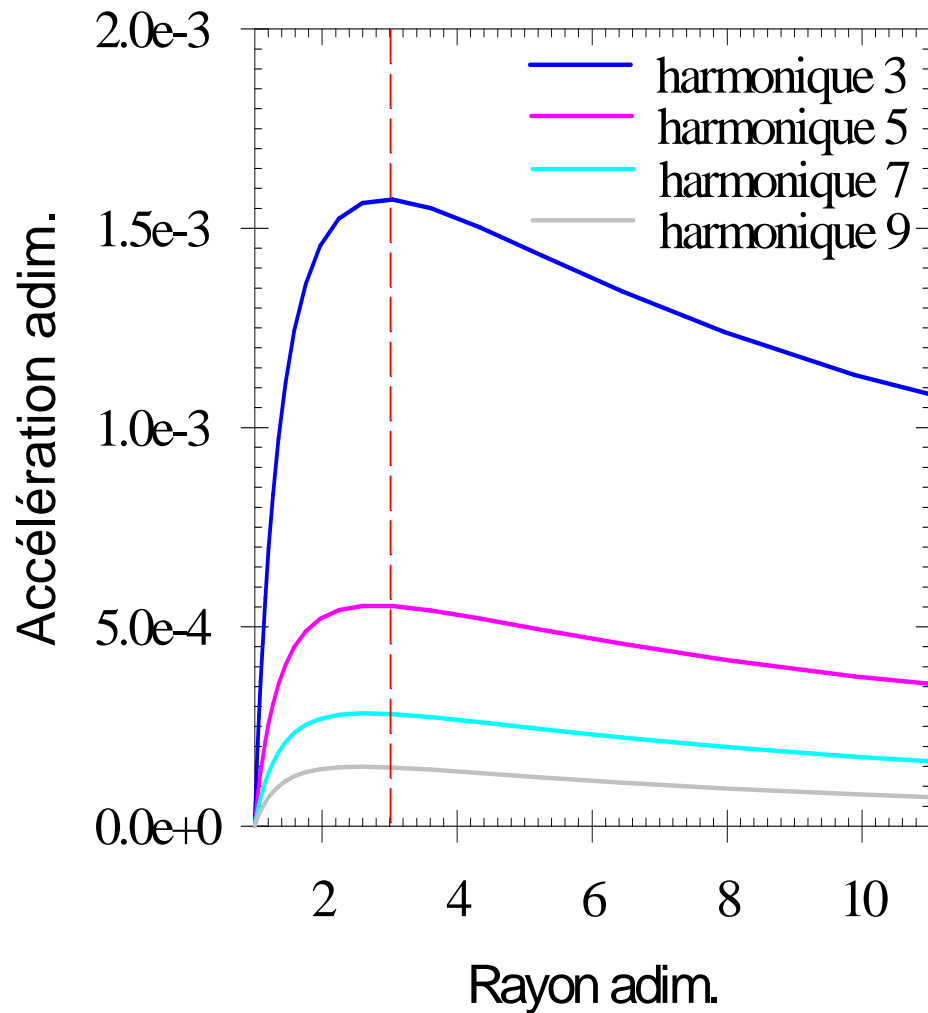
Nombre de périodes



Simulation Accélération

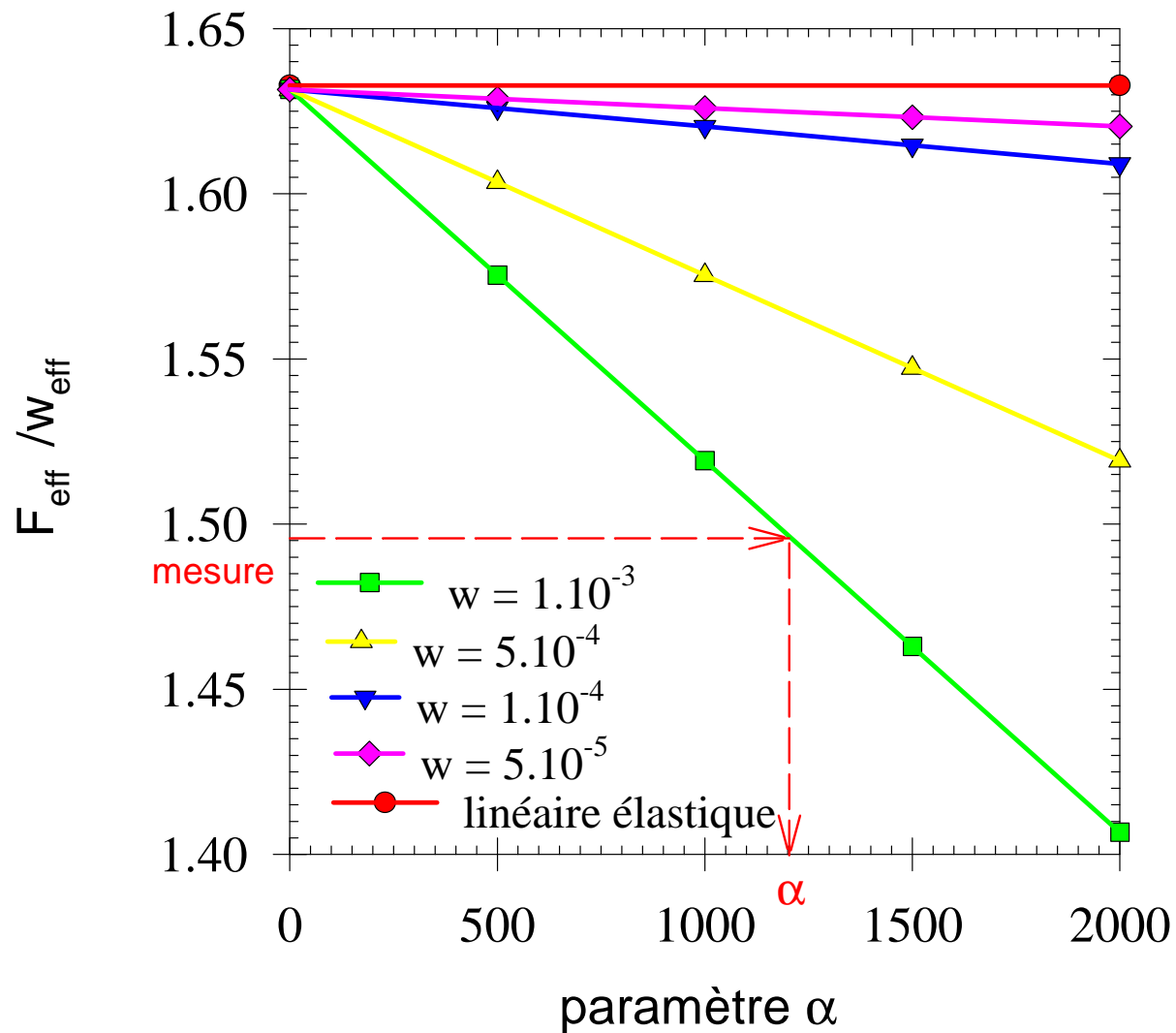


Simulation Accélération



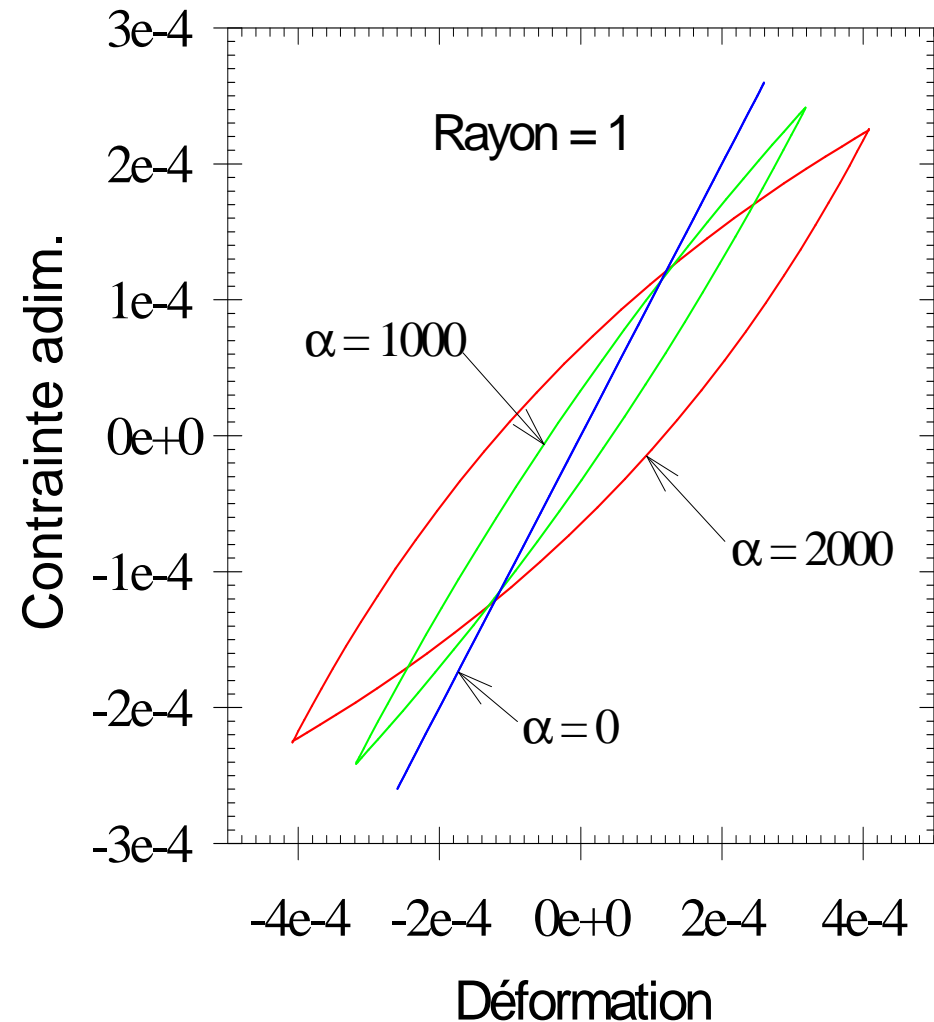
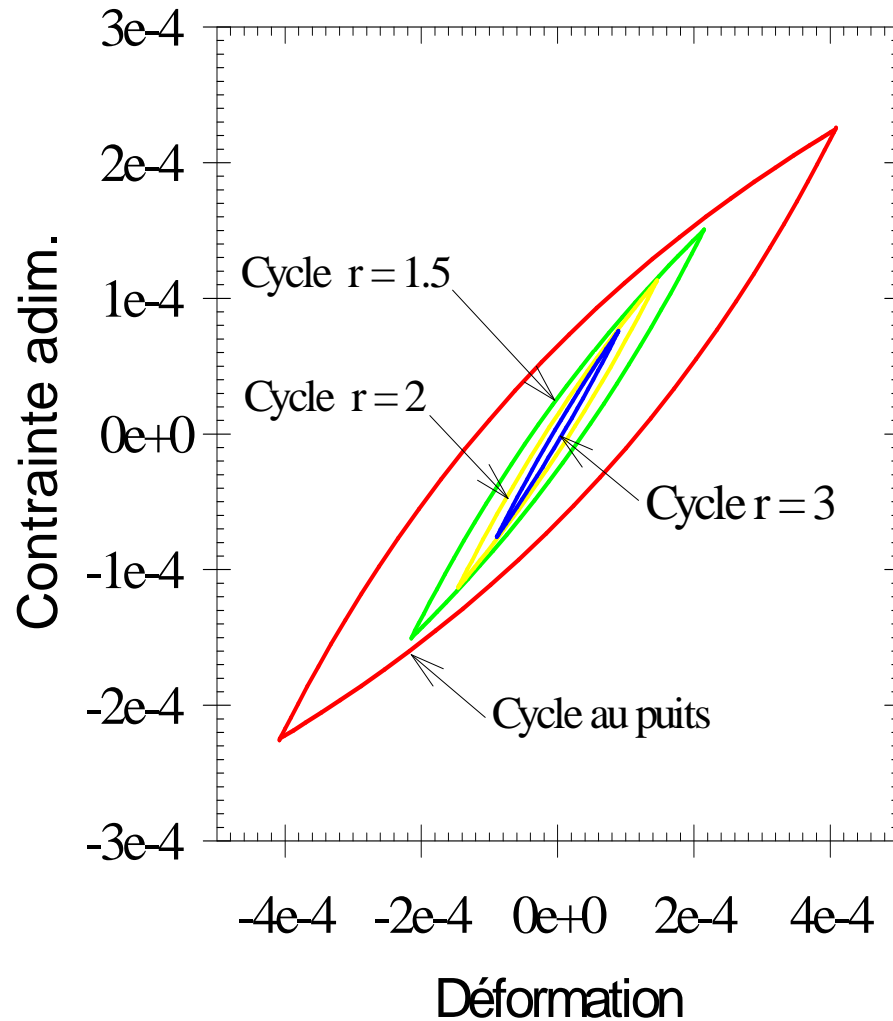
Simulation

Impédance mécanique



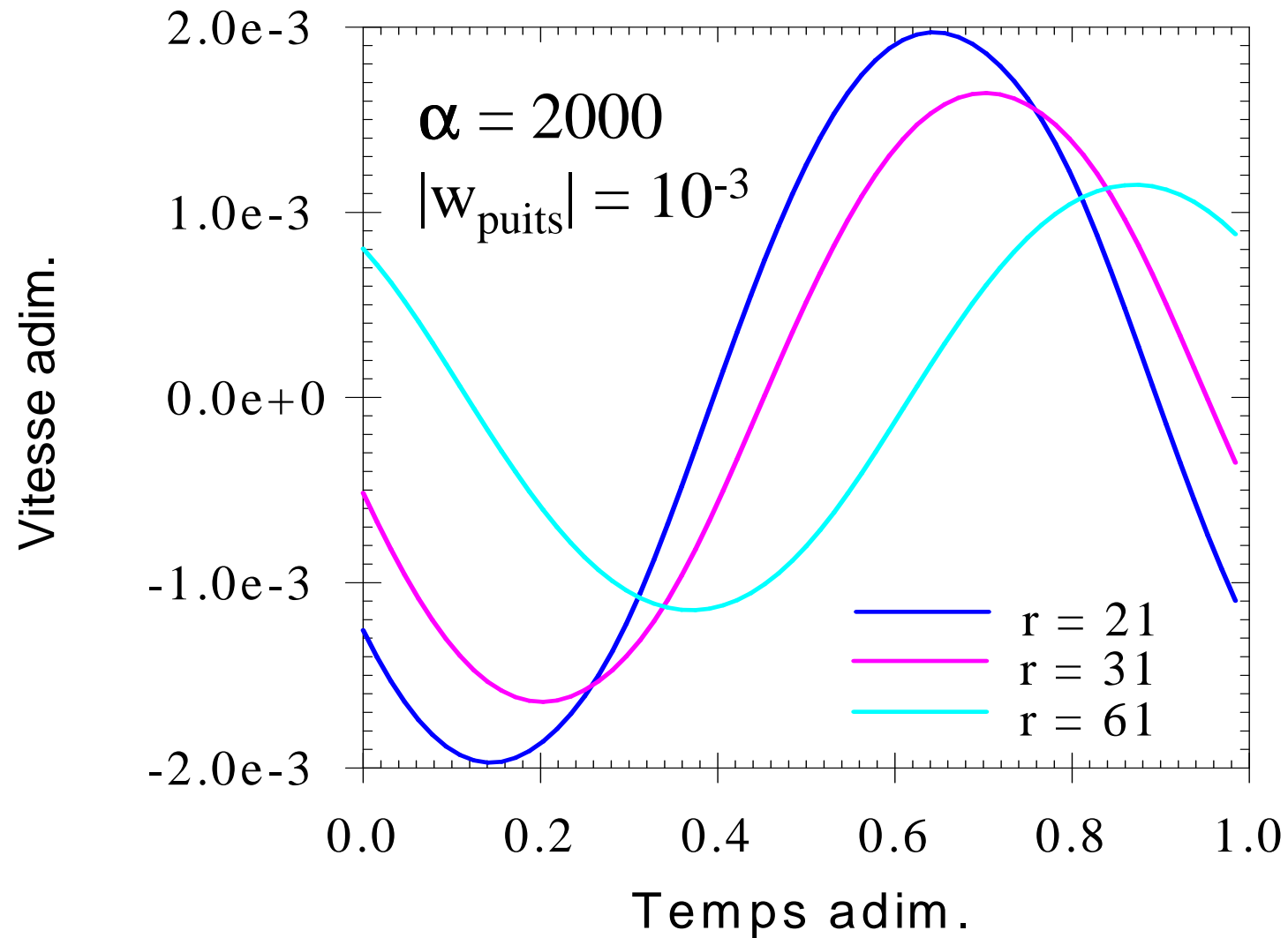
Simulation

Cycles d'hystérésis



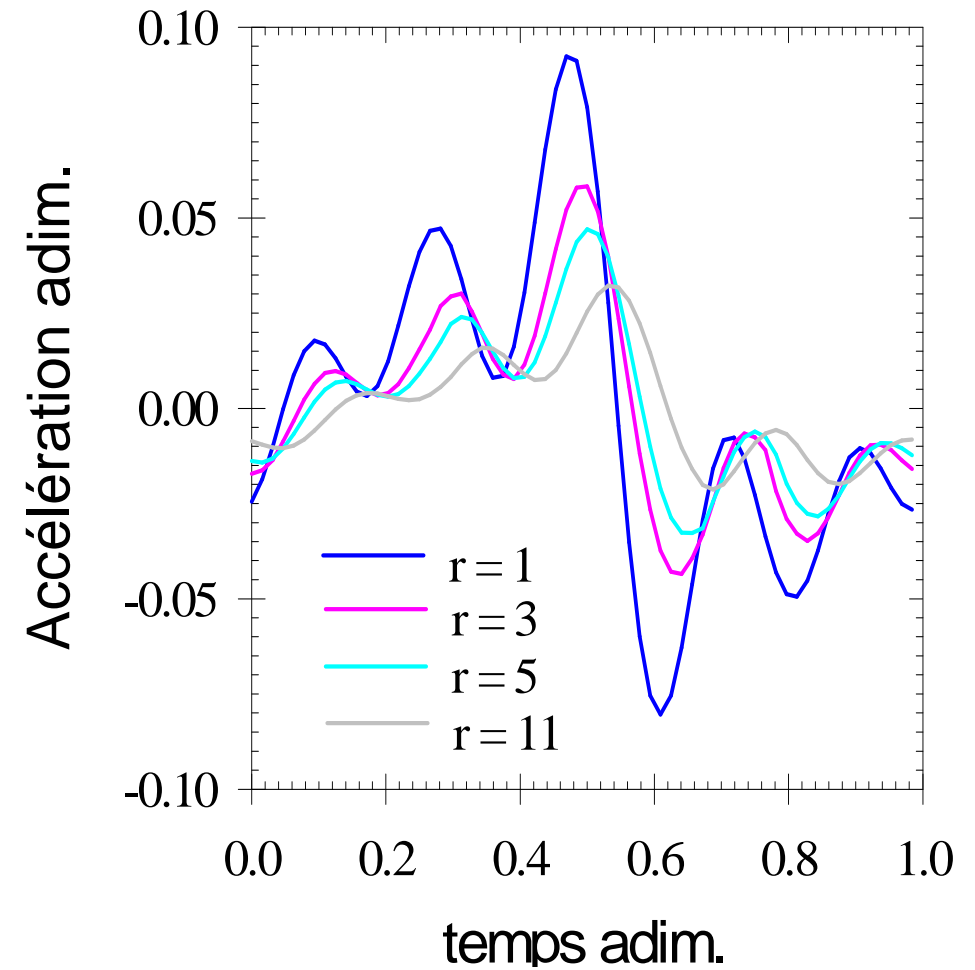
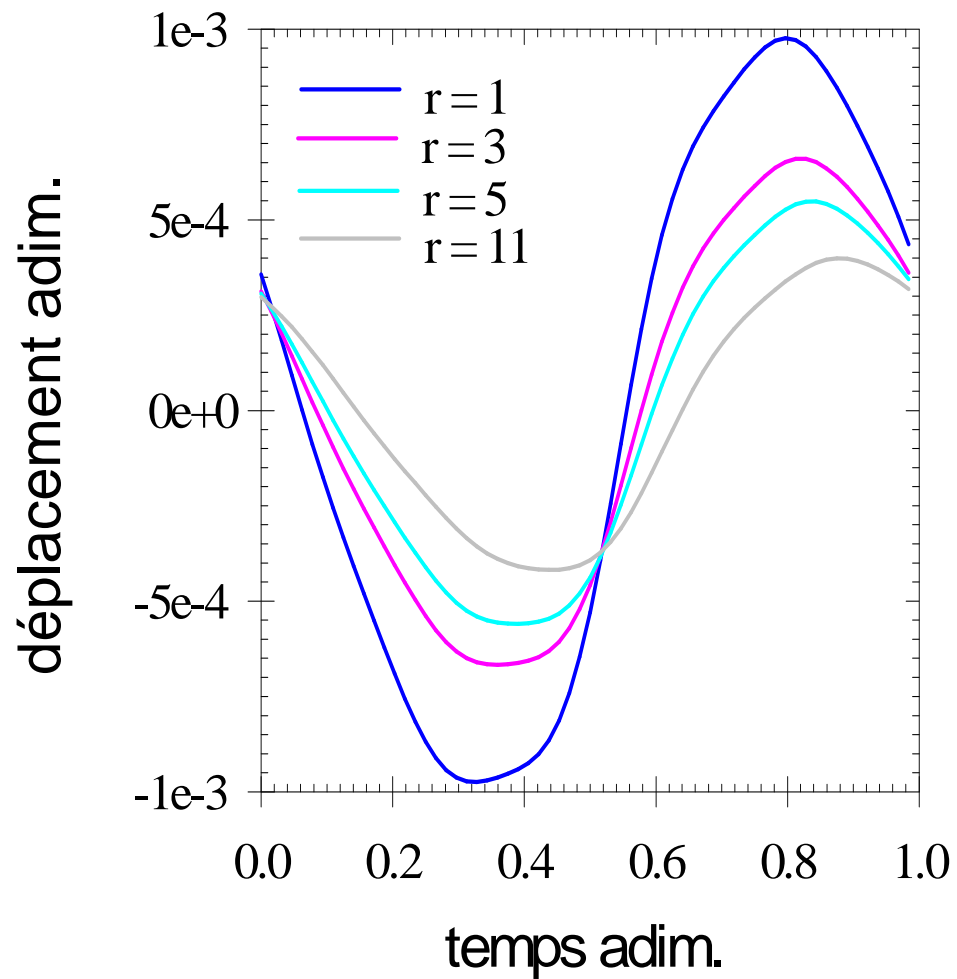
Simulation

Vitesse au loin

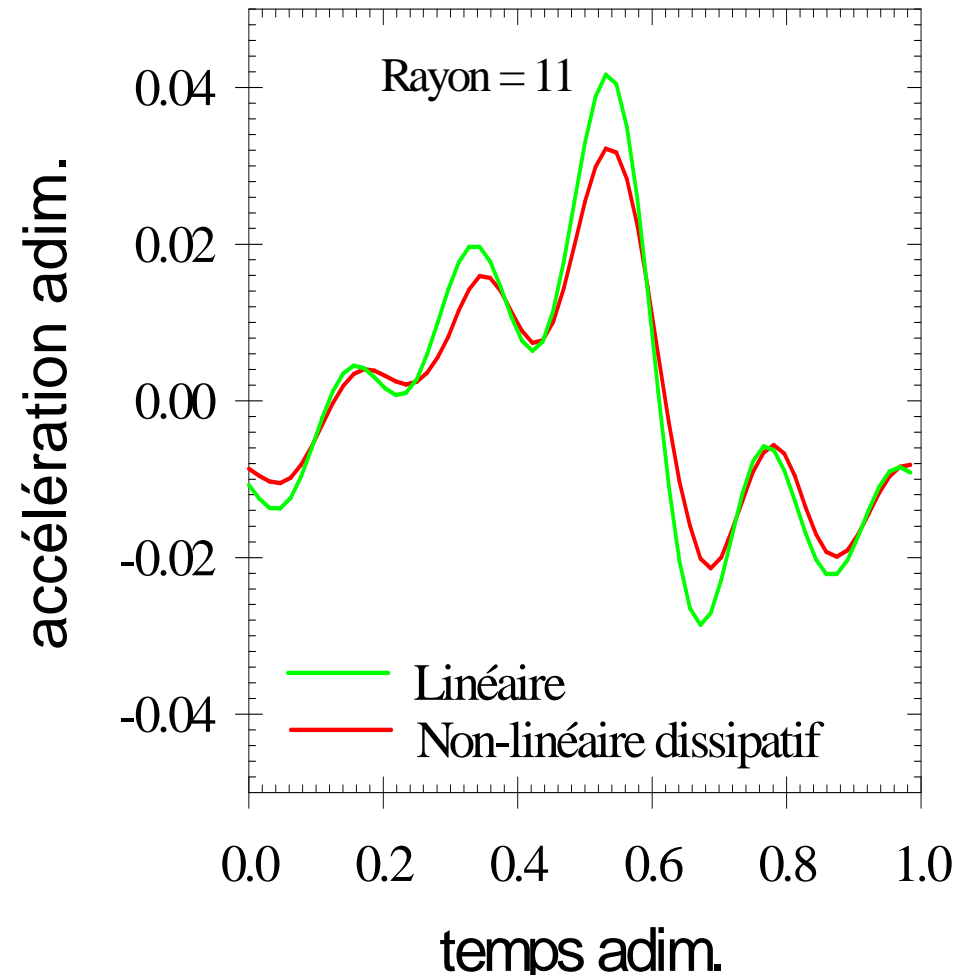
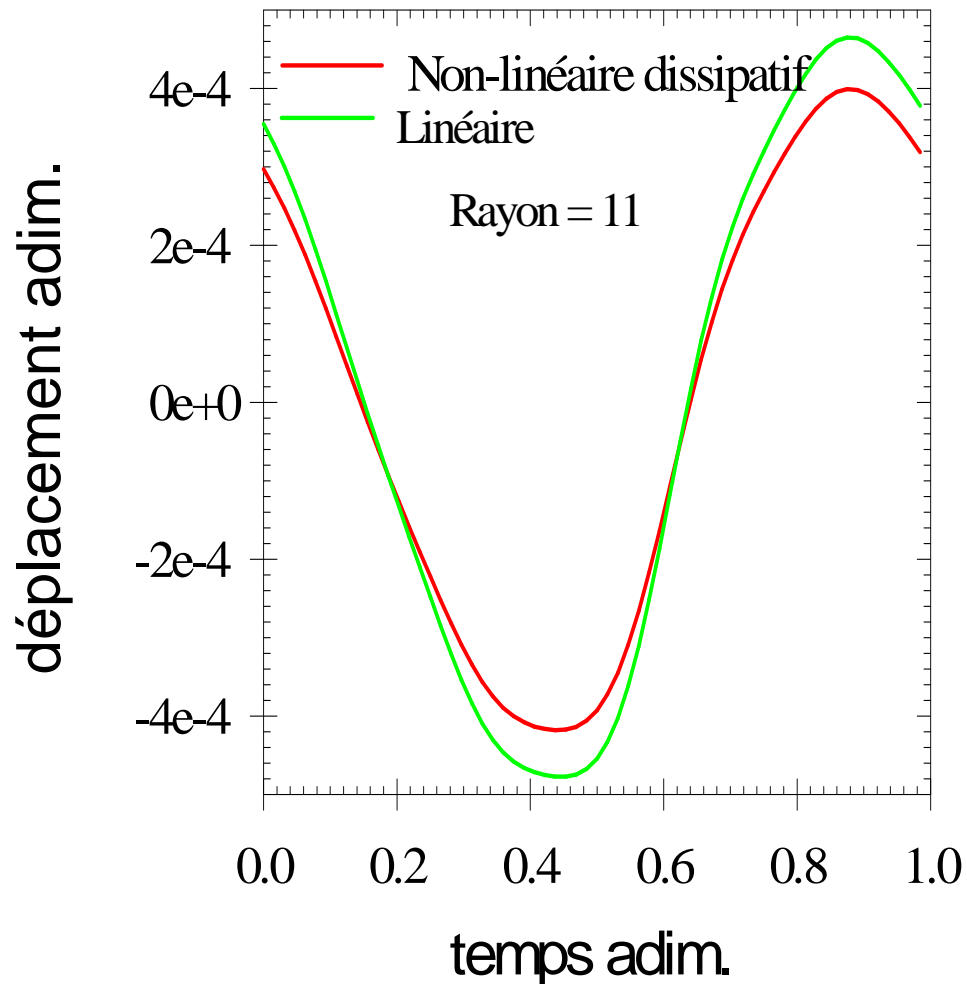


Simulation

Entrée non-sinusoïdale



Simulation Comparaison



Conclusion

- ▶ Codes de calcul **Linéaire** et **Non linéaire dissipatif**
 - ↳ Résolution: Non linéaire, **Non différentiable**, Frontière au loin
 - ↳ Entrée: **Non sinusoïdale**
- ▶ Possibilités d'identification des paramètres du sol
 - ↳ Accélération
 - ↳ **Impédance mécanique au puits**
 - ↳ Température, Vitesse cross-hole