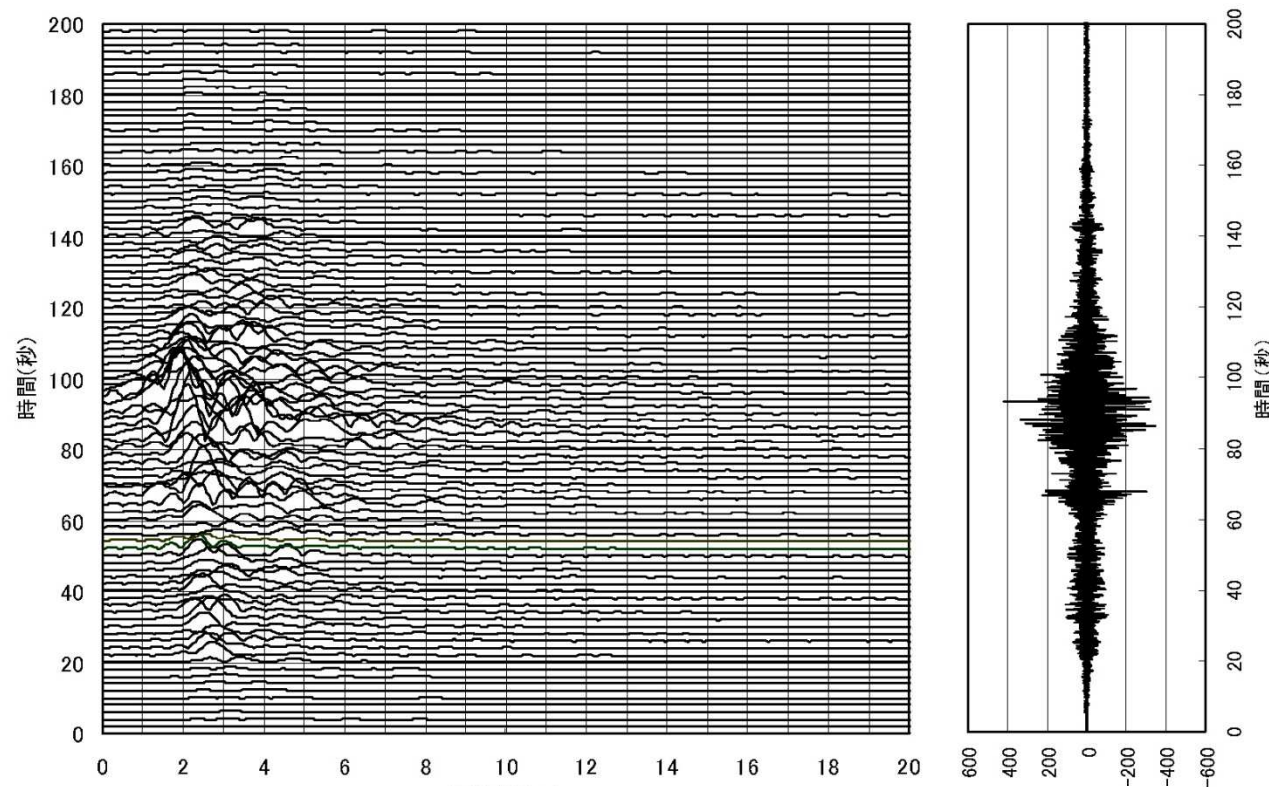
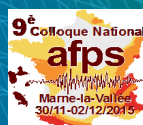


ANALYSE SISMIQUE DES BARRAGES EN REMBLAI

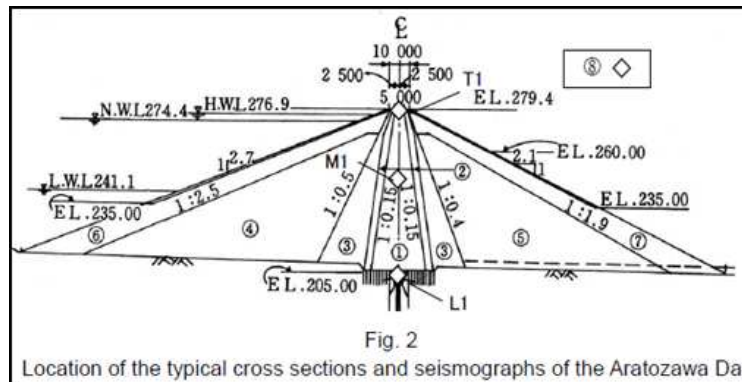


Running Fourier spectra measured at the dam crest
during 2011 Tohoku earthquake (Matsumoto JCOLD 2013)

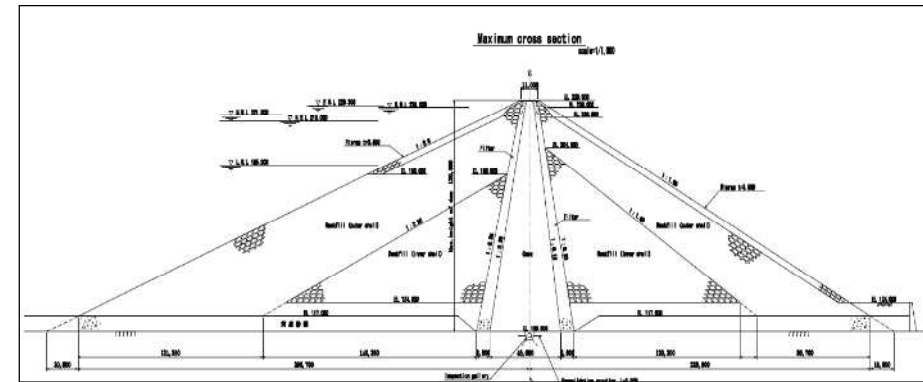
J-J Fry EDF-CIH



Examen du comportement sismique de deux barrages japonais (JCOLD)



Barrage 1 H= 74m L=414m



Barrage 2 H= 120m L=435m

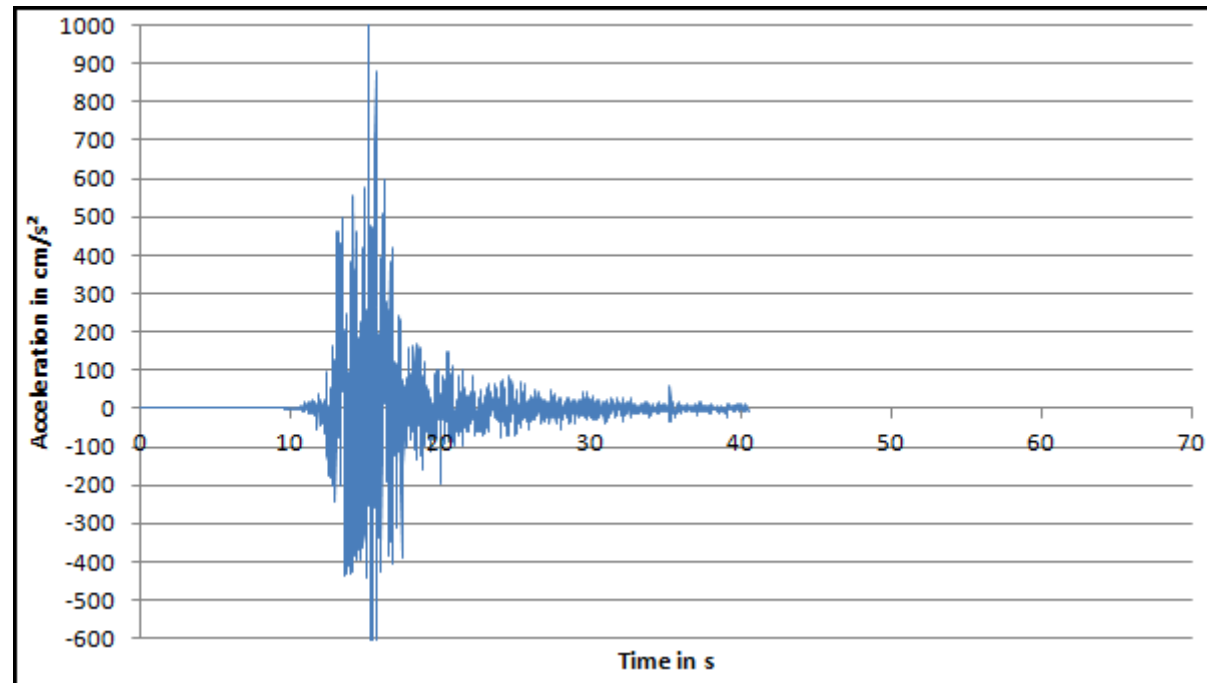


Le Barrage 1 est soumis à un séisme proche, le Barrage 2 à un séisme loin



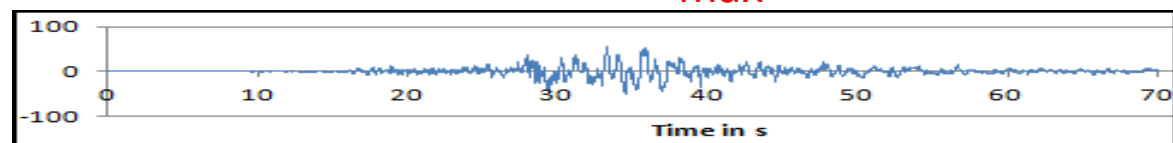
- Séisme de Iwate-Miyagi Nairiku $M_j=7.2$ $D=15$ km $a_{\max}=10,24\text{m/s}^2$

Barrage 1



- Séisme de Tokachi-Oki $M_j=8$ $D=140$ km $a_{\max}=0,56\text{m/s}^2$

Barrage 2



Des dégâts sismiques peu différents: faibles déplacements irréversibles!

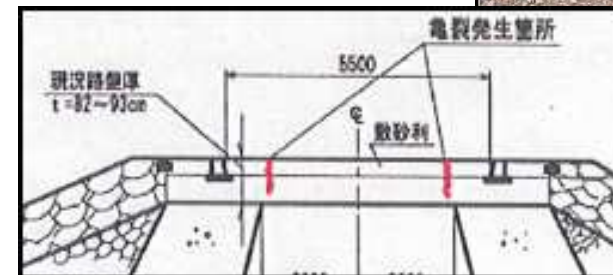


Barrage 1

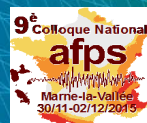
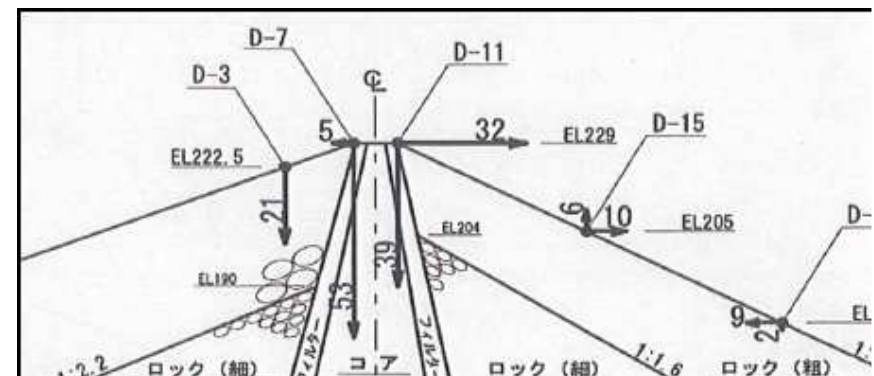


- Max Dx=0,06m
- Max Dz noyau=0,40m
- Max Dz recharge=0,20m

Barrage 2



- Max Dx=0,03m
- Max Dz=0,05m



Pourquoi les dégâts sont faibles et quasi-identiques?



Paramètre	Symbole	BARRAGE 1	BARRAGE 2	Unité
Tremblement de terre	Nom	Iwate-Miyagi Nairiku	Tokachi-Oki	
Magnitude	Mj	7,2	8	
Distance	D	15	140	km
Accélération Maximale	Amax	10,24	0,56	m/s ²
Vitesse Maximale	Vmax	0,5	0,17	m/s
Déplacement Maximal	Dmax	0,18	0,46	m
Intensité d'Arias	IA	5,13	0,11	m/s
Intensité d'Housner	IH	0,39	0,56	m
Durée de phase forte Trifunac Brady Strong	tf-ti	5,36	23,64	s
Fréquence prédominante Trifunac Brady	fseism	12,4	2,45	Hz
Cumulative Average Velocity CAV à 0,03g	Cav	13,98	1,98	m/s
Pouvoir Destructeur de Saragoni	Pd	6,44E-03	1,40E-03	m.s
Rapport d'amplification	Ümax/Amax	0,5	5,8	-
Frequence propre/F. prédominante	f1/fseism	0,24-0,06	0,9-0,73	-
Déplacement horizontal irréversible	U	0,06	0,03	m
Déplacement vertical irréversible	S	0,2 – 0,4	0,05	m

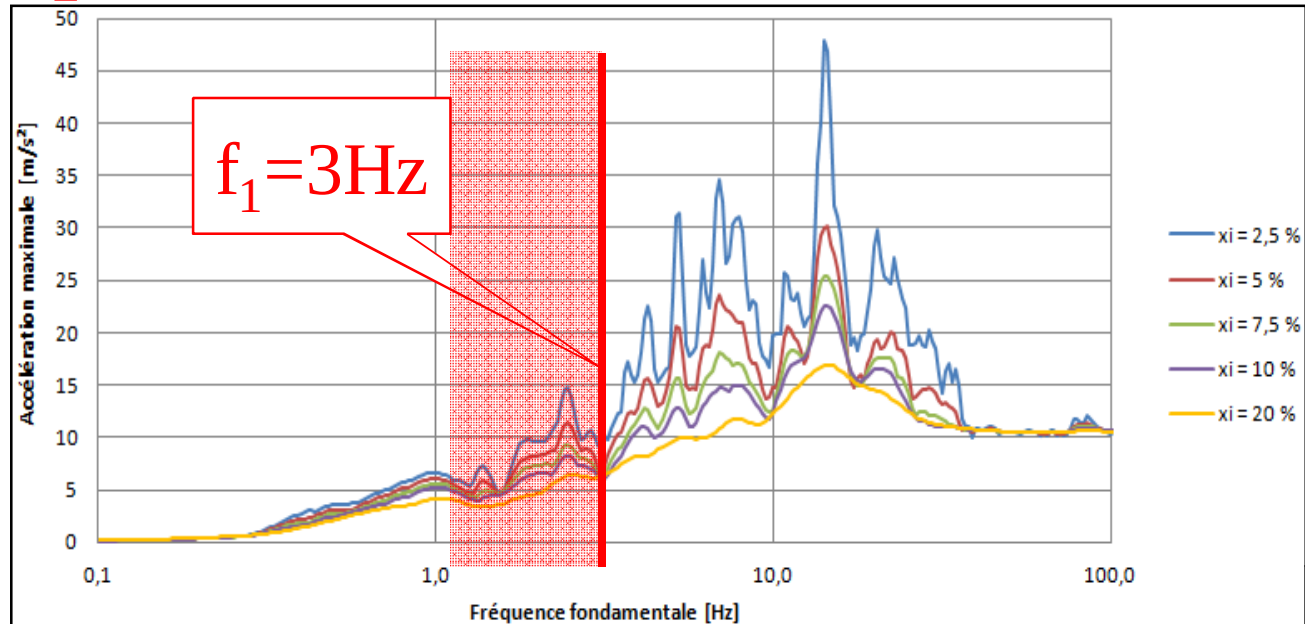


R1: le séisme proche active peu le mode fondamental f_1 contrairement au lointain



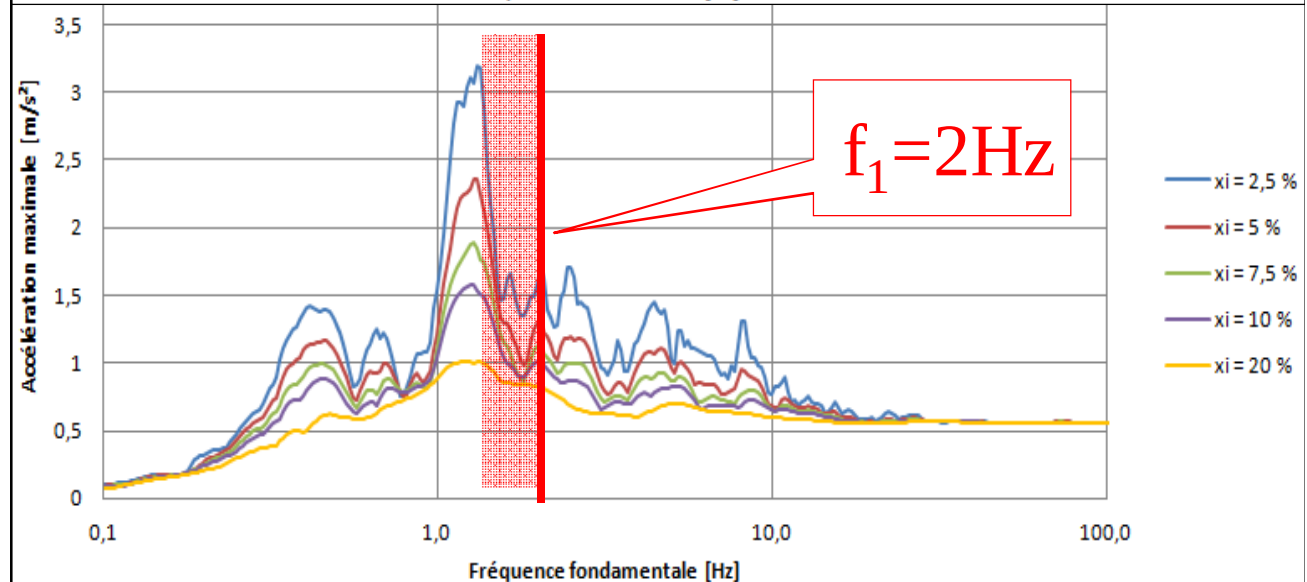
Barrage 1

- Iwate-Miyagi Nairiku $M_j=7.2$
 $D=15$ km
 $a_{\max}=10,24\text{m/s}^2$

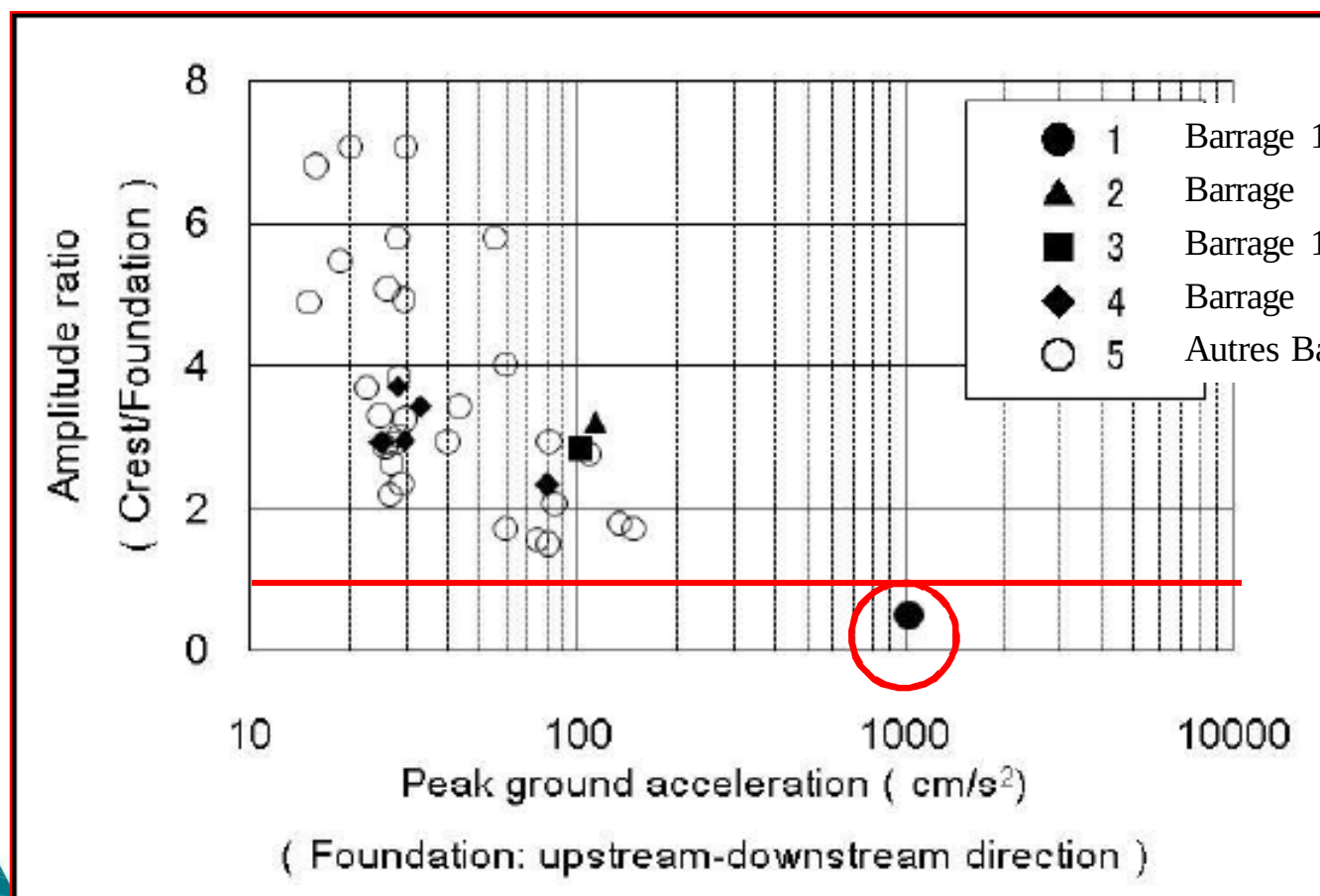


Barrage 2

- Tokachi-Okii $M_j=8$
 $D=140$ km
 $a_{\max}=0,56\text{m/s}^2$



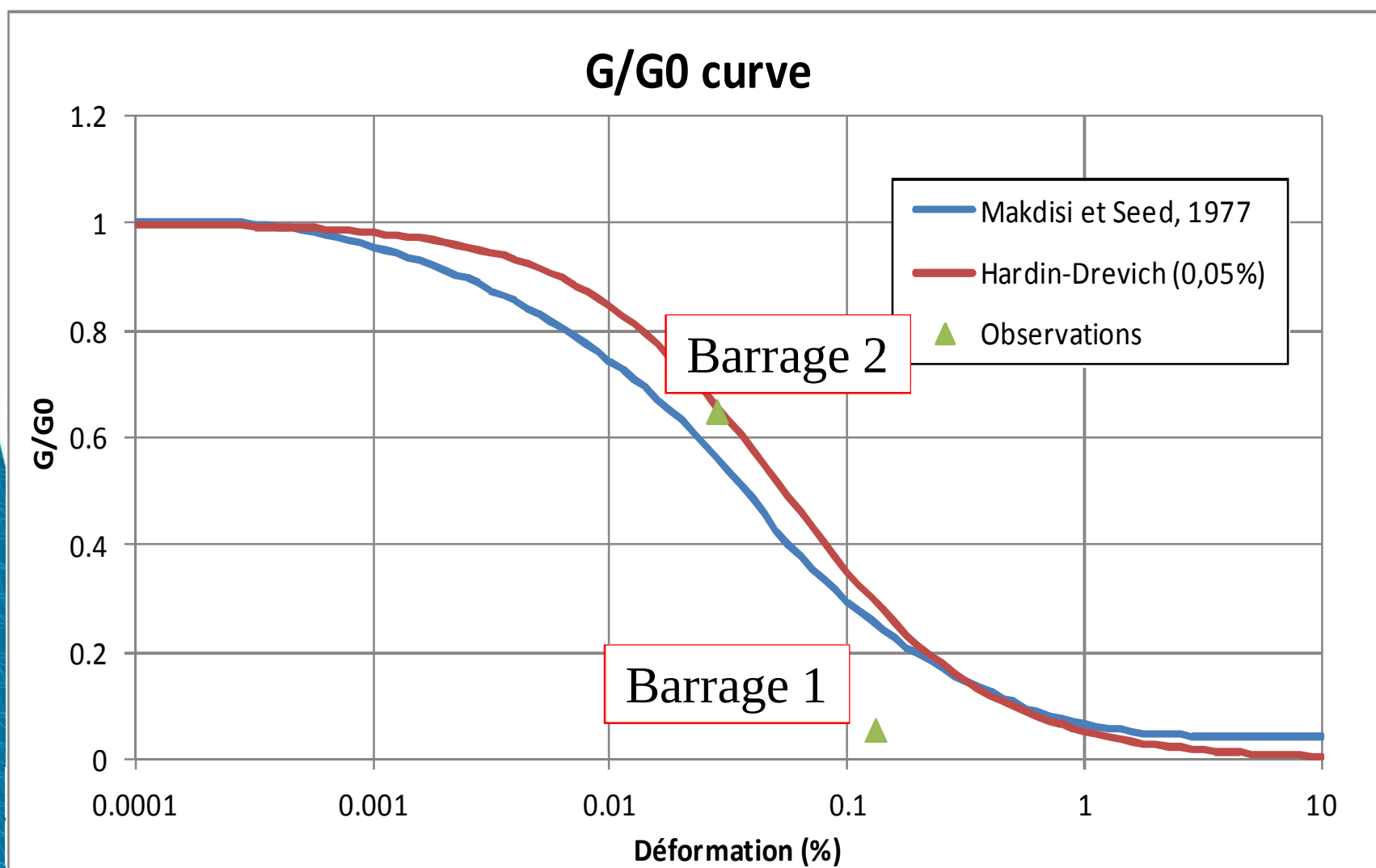
R2 : les faibles accélérations sont amplifiées et les fortes sont amorties



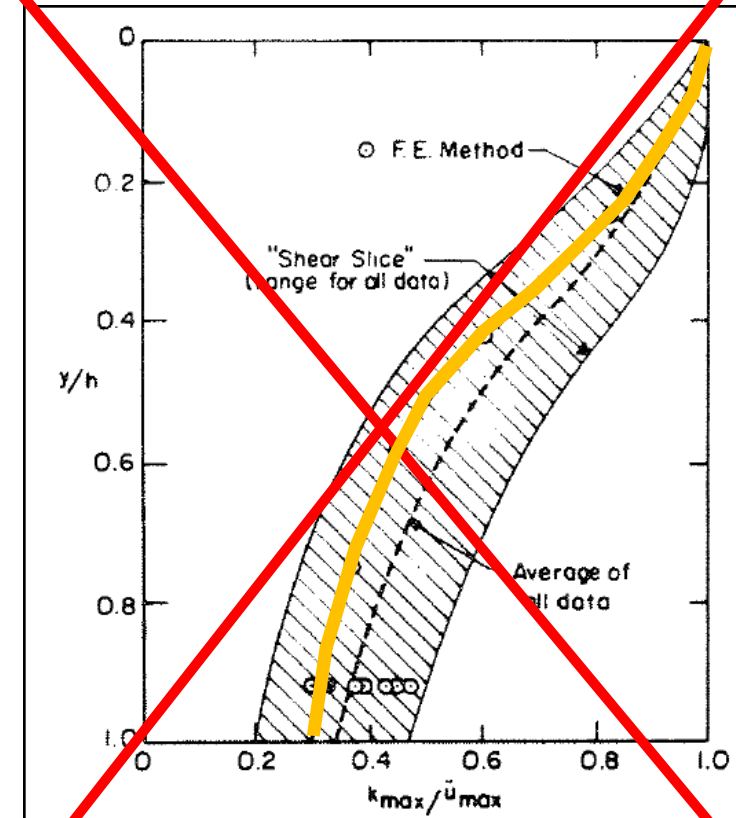
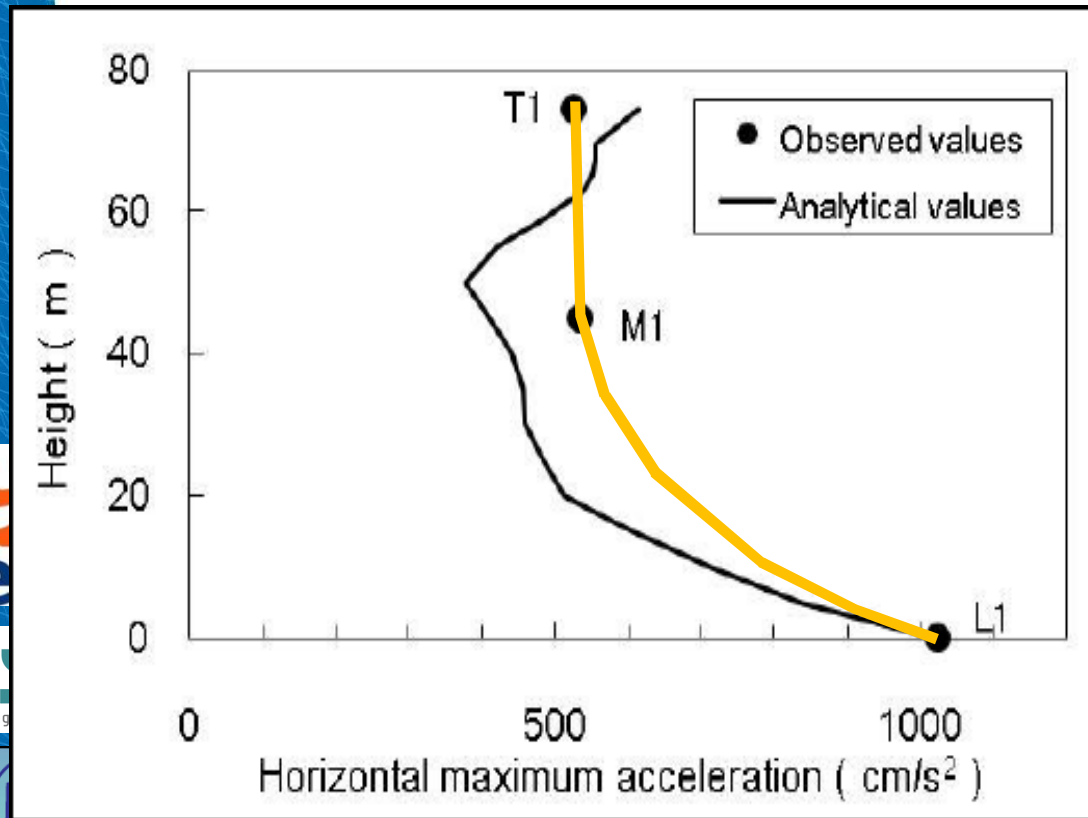
Soda H.
Hatano K.
Sato N.
(CIGB
2012)

- Le rapport d'amplification Crête/fondation décroît quand $a_{\max}$ croît

L'amortissement vient des non linéarités et de la hausse de pression



La méthode de Seed et Makdisi (1977) est inadaptée pour les forts séismes



Soda H. Hatano K. Sato N.
(CIGB 2012)

- Calcul de $k_{\max}$ d'après Seed (1977)

CONCLUSION: TROUVONS UNE METHODE SIMPLIFIÉE PLUS RIGOUREUSE

1. Basée sur la combinaison de modes propres
2. Les modes propres issus d'un calcul 3D
3. Calage de l'élasticité par mesures in situ
4. Avec modèle équivalent non linéaire
5. Plus calcul de pression interstitielle
6. Plus calcul du tassement



Principe de la nouvelle méthode

Au temps t

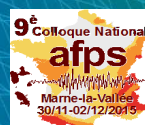


- 1- Calcul des modes propres ($T_1, \dots, T_n$)
- 2- Calcul de l'accélération en crête $\ddot{u}_c$
- 3- Calcul de la distorsion γ
- 4- Calcul de l'augmentation de la pression Δu
- 5- Calcul du module G et de l'amortissement ξ
- 6 – Calcul du tassement w

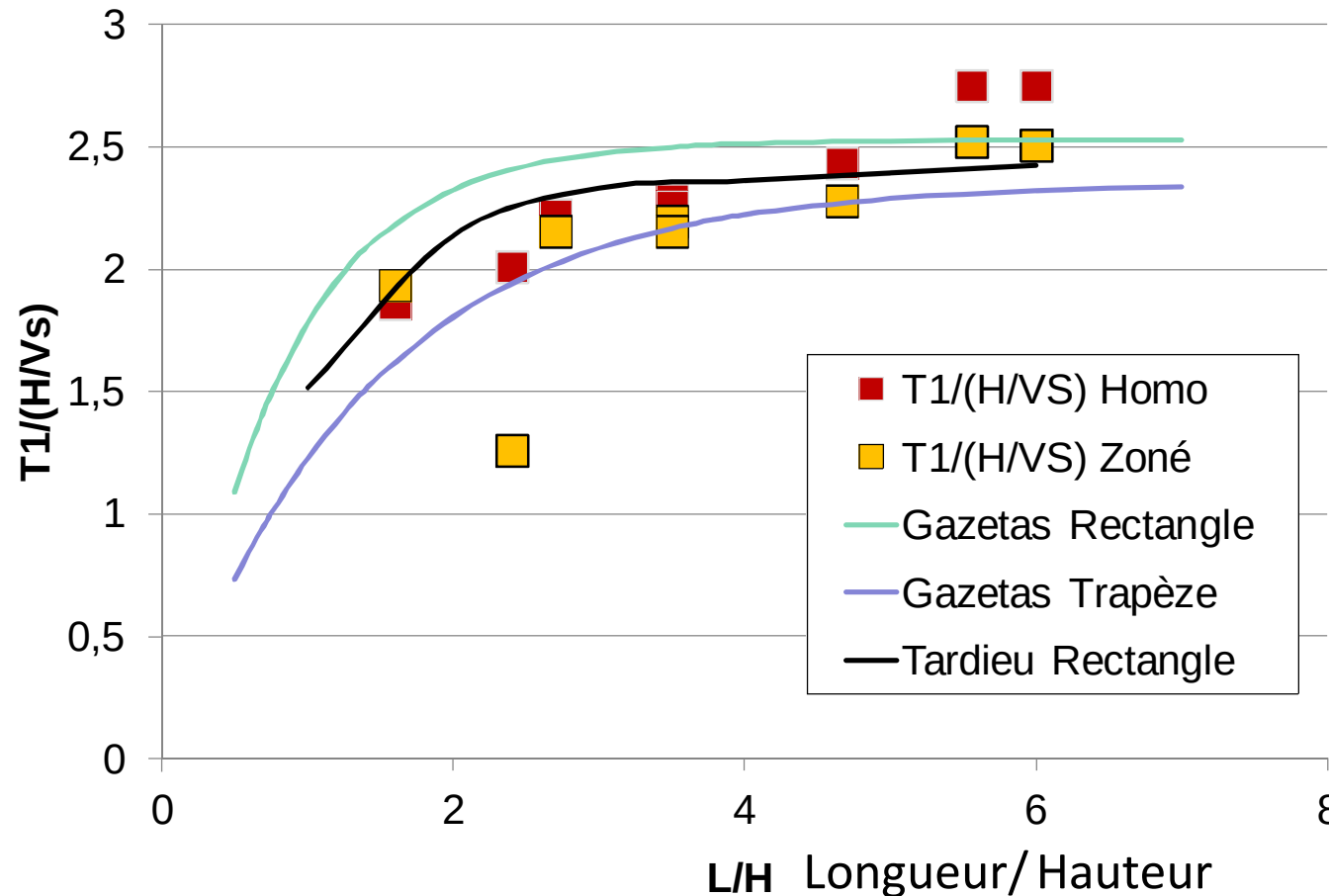


Passage à $t + dt$

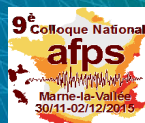
Colloque AFPS'15 – 30 novembre au 2 décembre



Etape 1: Calcul des périodes propres T_n par calcul élastique 3D



- $T_n = \beta_n \cdot H/V_s$ (V_s vitesse d'ondes de cisaillement)
 β_n = Facteur de période constant

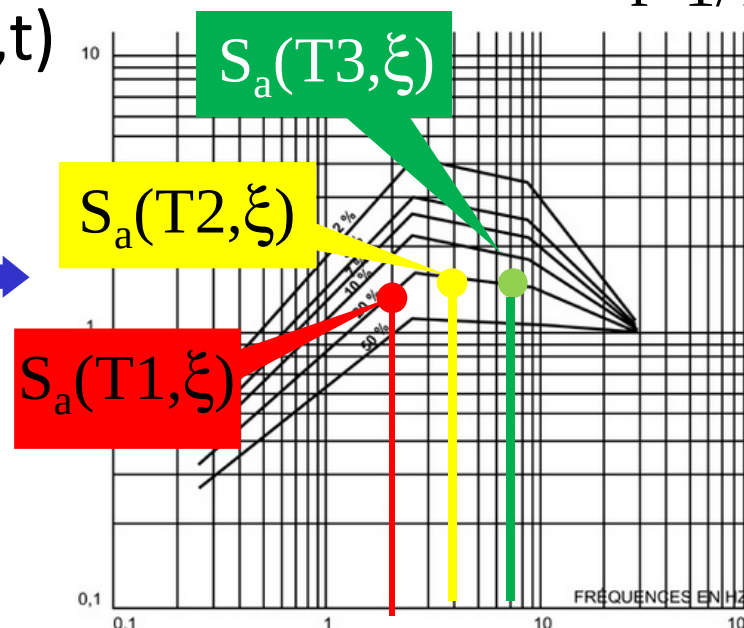
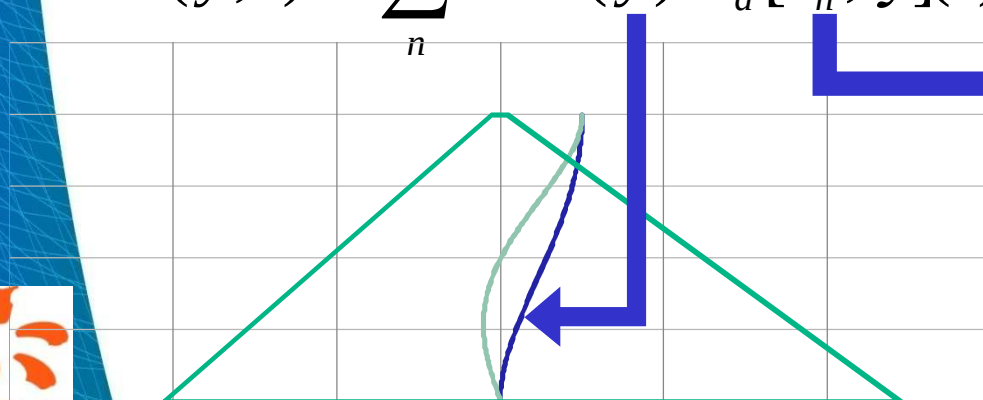


Etape 2: Calcul de l'accélération en crête $\ddot{u}_c$

- Calcul de l'accélération $\ddot{u}_c: \ddot{u}(h,t)$

$$\ddot{u}(y,t) = \sum_n FP(y).S_a[T_n, \xi](t)$$

$f=1/T$



Makdisi & Seed

FP1 = 1,6

FP2 = 1,06

FP3 = 0,86

MEF 2D Barrage 1

FP1 = 1,7

FP2 = 0,5

FP3 = 0,12

dépend peu de la forme

MEF 3D Barrage 1

FP1 = 2,2

FP2 = 0,5 à 1

FP3 = 0,2 à 0,8

dépend de la forme 3D

Etape 3: Calcul de la distorsion γ

Distorsion instantanée :

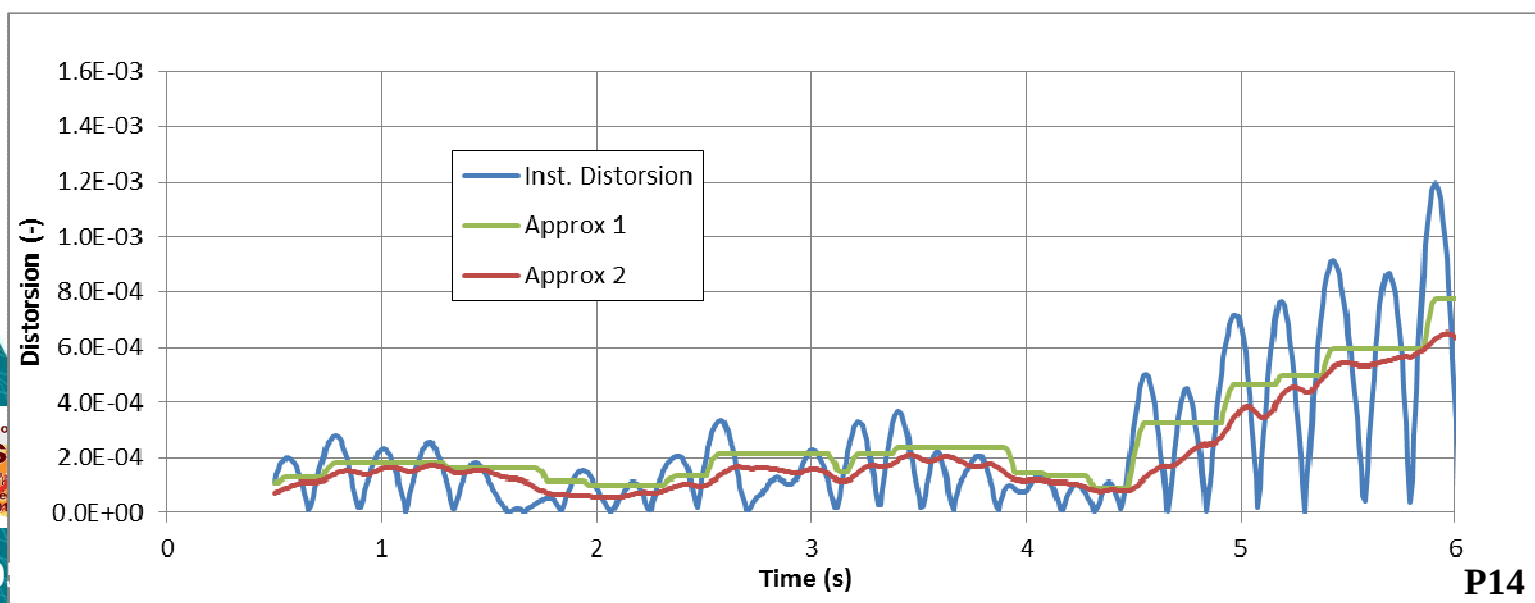
$$\gamma_i = (U(\text{crête}) - U(\text{base})) / H$$

Distorsion moyenne sur un demi cycle de T_1

$$\gamma_1 = \text{moyenne} (\gamma_i, t-T_1/2 \dots t) \text{ ou}$$

$$\gamma_2 = 0.65 \times \text{maximum}(\gamma_i, t-T_1/2 \dots t)$$

Les deux approximations ont des résultats proches



Etape 4: Calcul de la génération Δu



Calcul des déformations volumiques (Byrne 1991) :

$$\Delta \epsilon_v = C1 \cdot \gamma \cdot \exp(-C2 \cdot \epsilon_v / \gamma)$$

Calcul de l'incrément de la pression d'eau:

$$\Delta u = M \cdot \Delta \epsilon_v$$

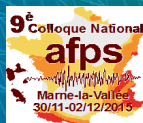
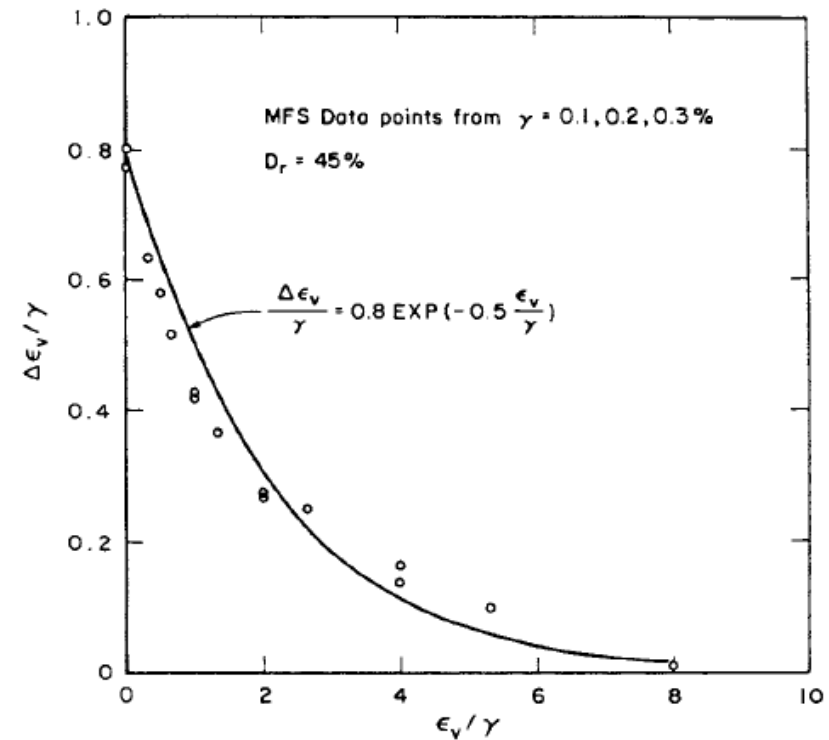
Exemple de paramètres:

$$C2 = 0,4/C1$$

Compactage fort: $C1 = 0,15$ $C2 = 2,5$ $M = 300$ MPa

Compactage moyen: $C1 = 0,2$ $C2 = 2$ $M = 300$ MPa

Compactage faible: $C1 = 0,25$ $C2 = 1,5$ $M = 300$ MPa



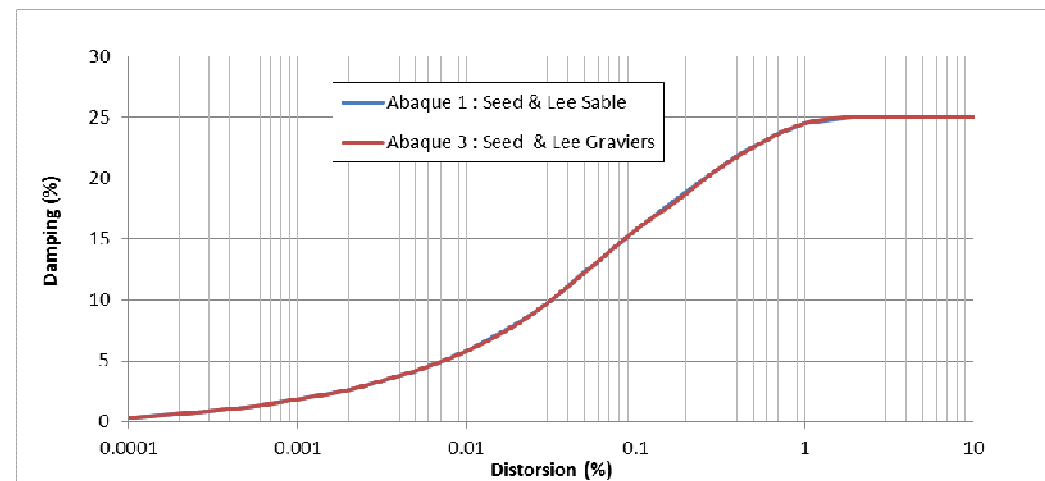
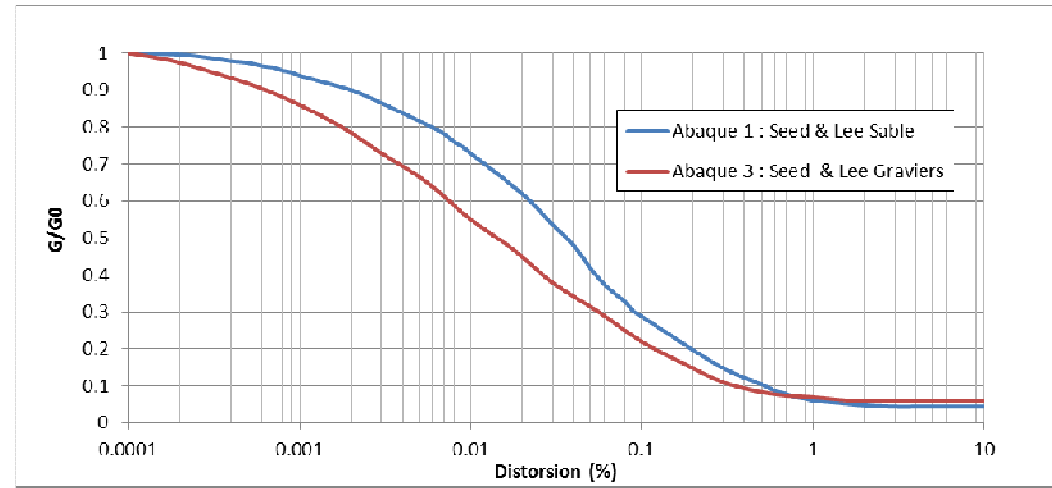
Etape 5: Calcul des non linearités



Les courbes classiques sont utilisées mais corrigées de l'effet de l'augmentation de la pression interstitielle

$$G_{\max} = G_{\max 0} \times (\sigma' / \sigma_0')^n$$

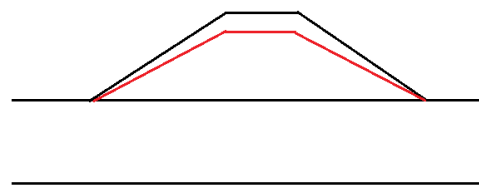
L'amortissement est la somme d'un amortissement hystérétique et d'un amortissement radiatif



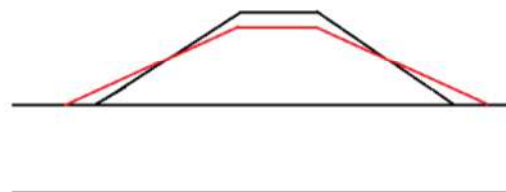
Etape 6: Calcul du tassement **w**

Tassement de consolidation : $\epsilon_z = \epsilon_v$

$$w_c = H \cdot \epsilon_v$$

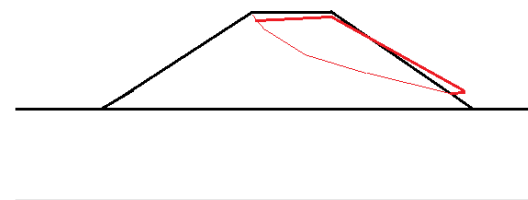


Tassement de distorsion : non pris en compte



Tassement de glissement : calculé avec Newmark

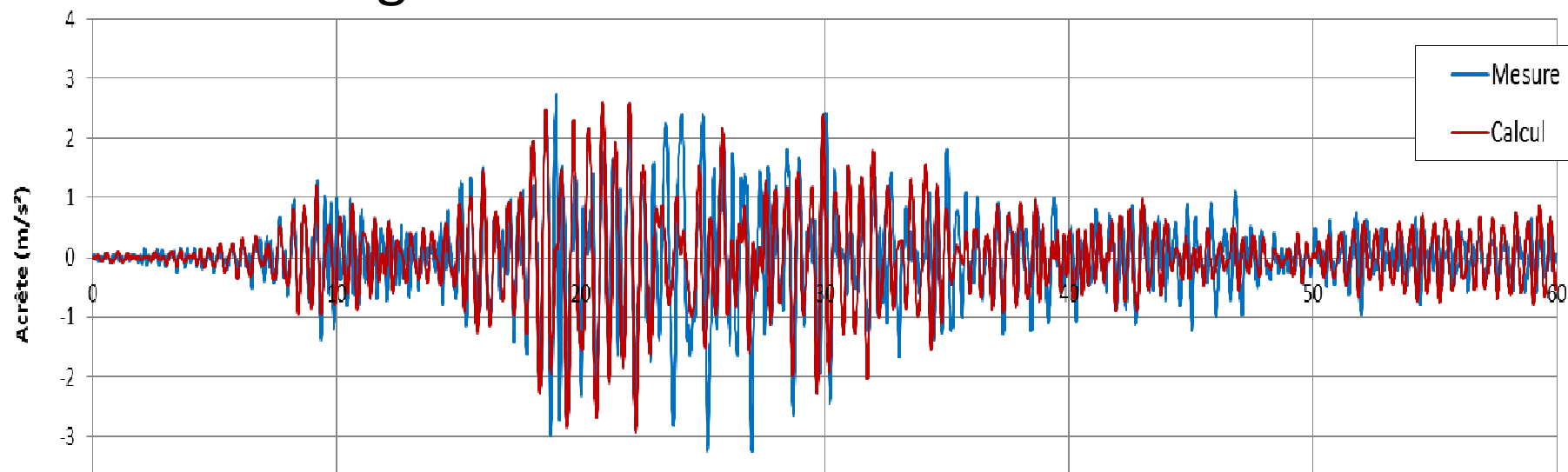
$$w = w_c + w_{\text{Newmark}}$$



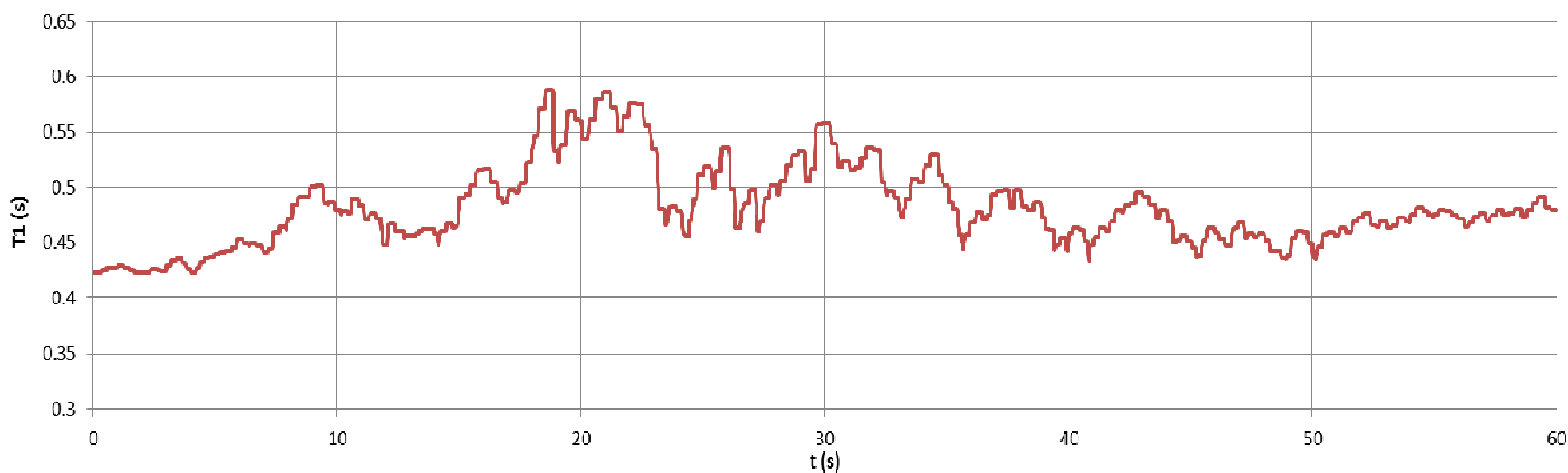
Application de la méthode

- Barrage 2

Accélération en crête



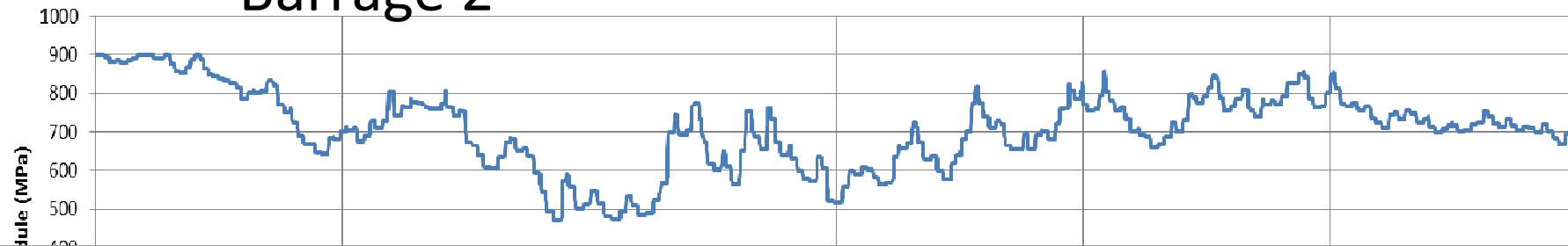
Première période propre



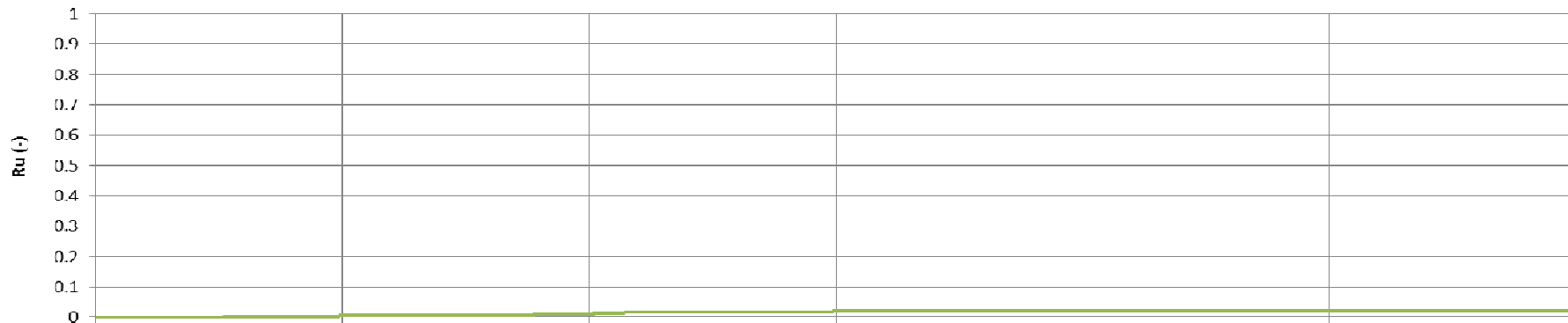
Application de la méthode

- Barrage 2

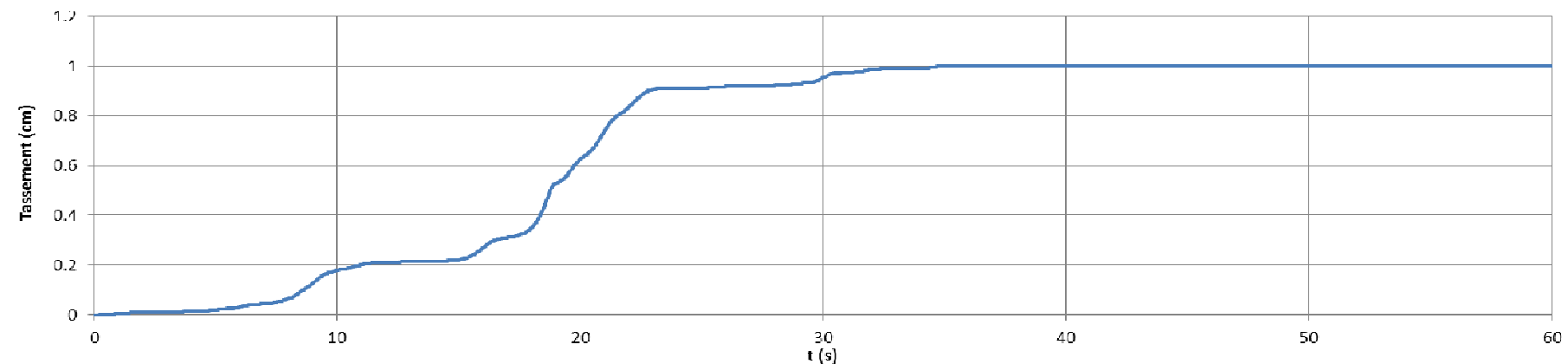
Module de cisaillement



Taux de liquéfaction



Tassement (cm)



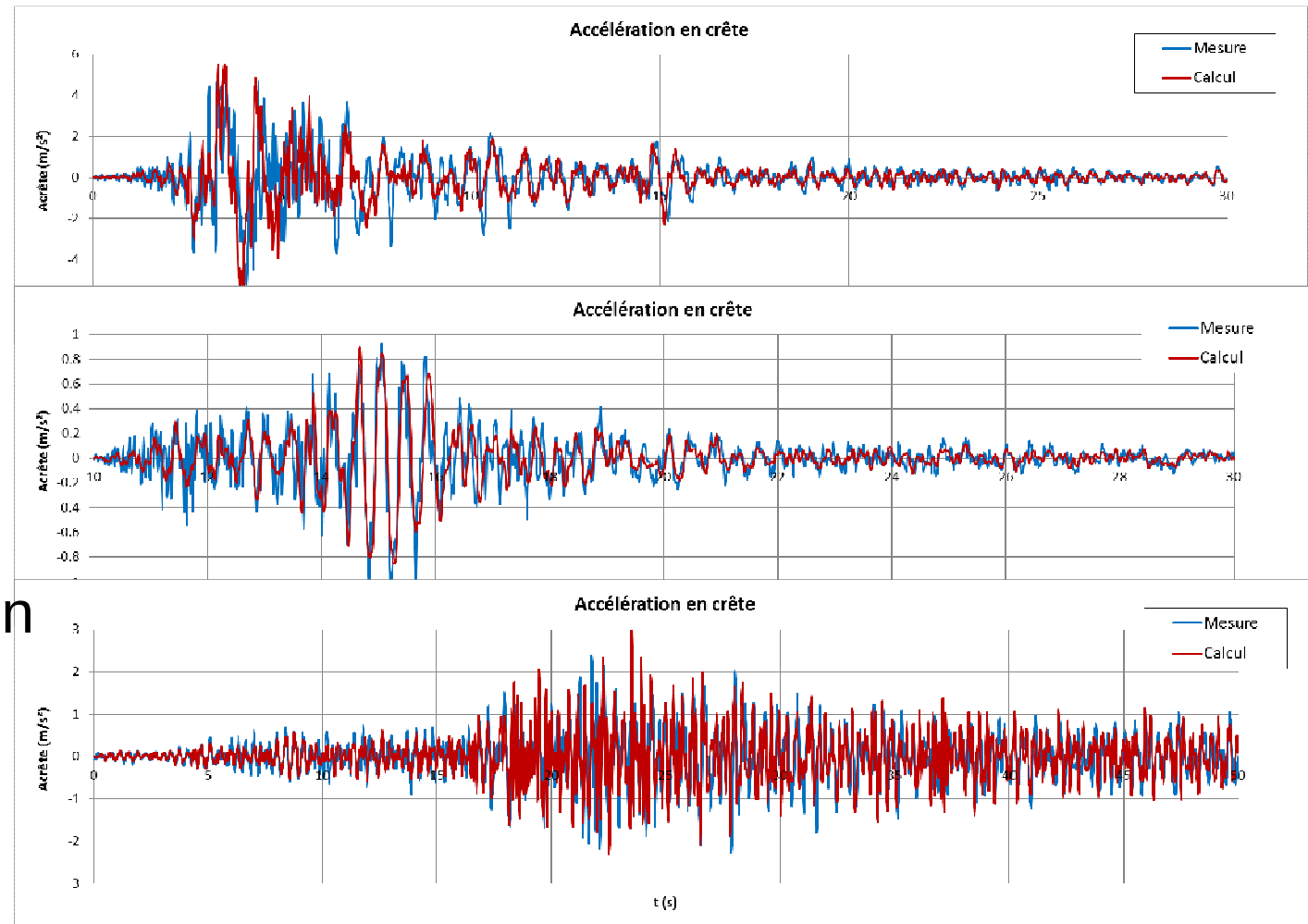
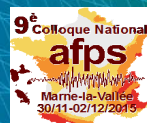
Qualification de la méthode sur le barrage 1



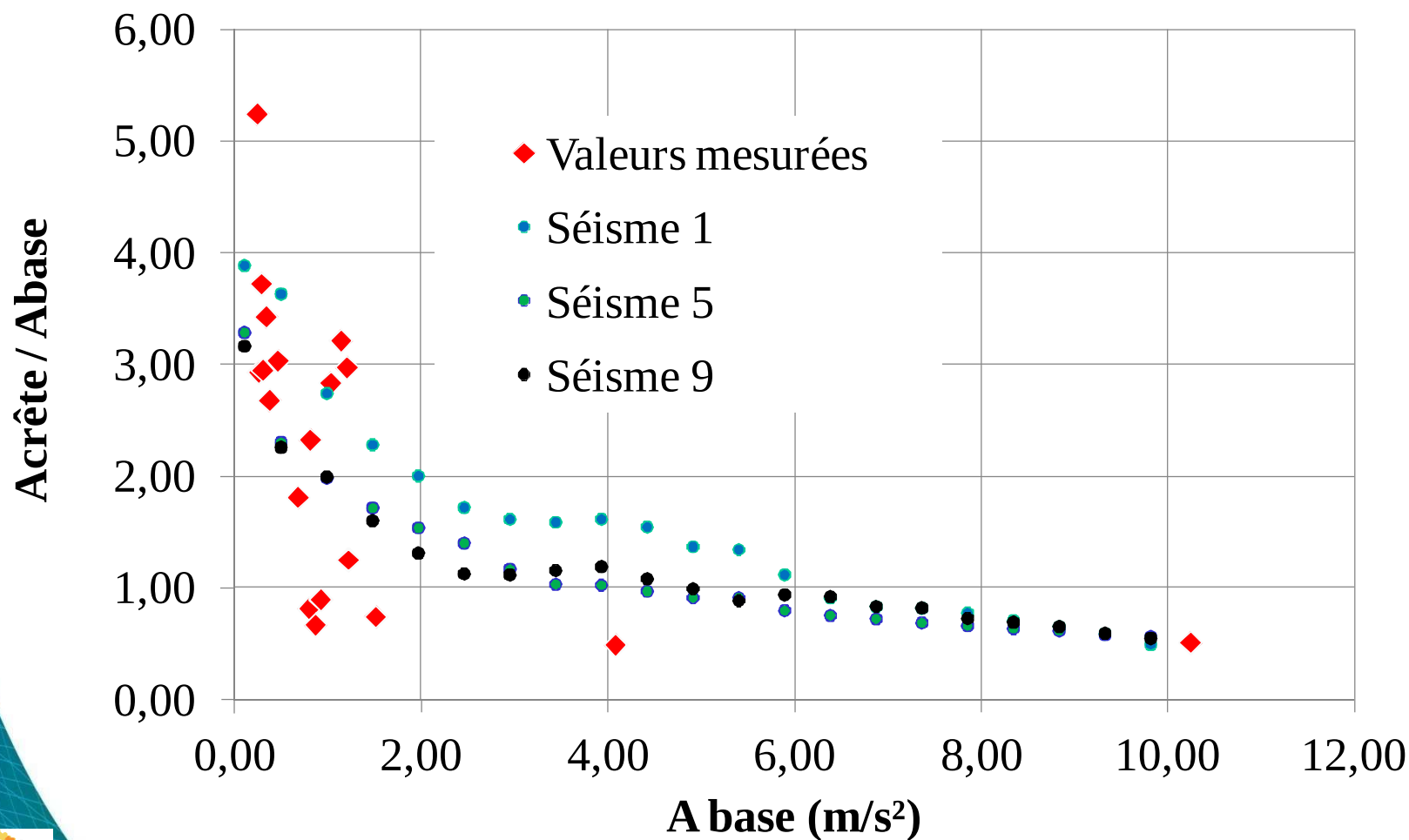
Calage
Séisme
2008

Simulation
Séisme
1996

Simulation
Séisme
2011



Qualification sur les barrages japonais ayant subi le séisme du grand Tohoku



- Barrages zonés (données JCOLD)



Bilan à venir de la qualification et des comparaisons de méthodes



Symposium JCOLD CFBR à Saint Malo

Du 31 Aout 2016

au 2 Septembre 2016



Du 31 Aout au 2 Septembre 2016

Prochain
Rendez
vous

merci
de votre
attention

