

# Le projet SISMOVALP

Fabrice Cotton

Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique,  
Grenoble, Université Joseph Fourier.



This project has received  
European Regional  
Development Funding  
through the INTERREG III B  
Community Initiative



Interreg III B

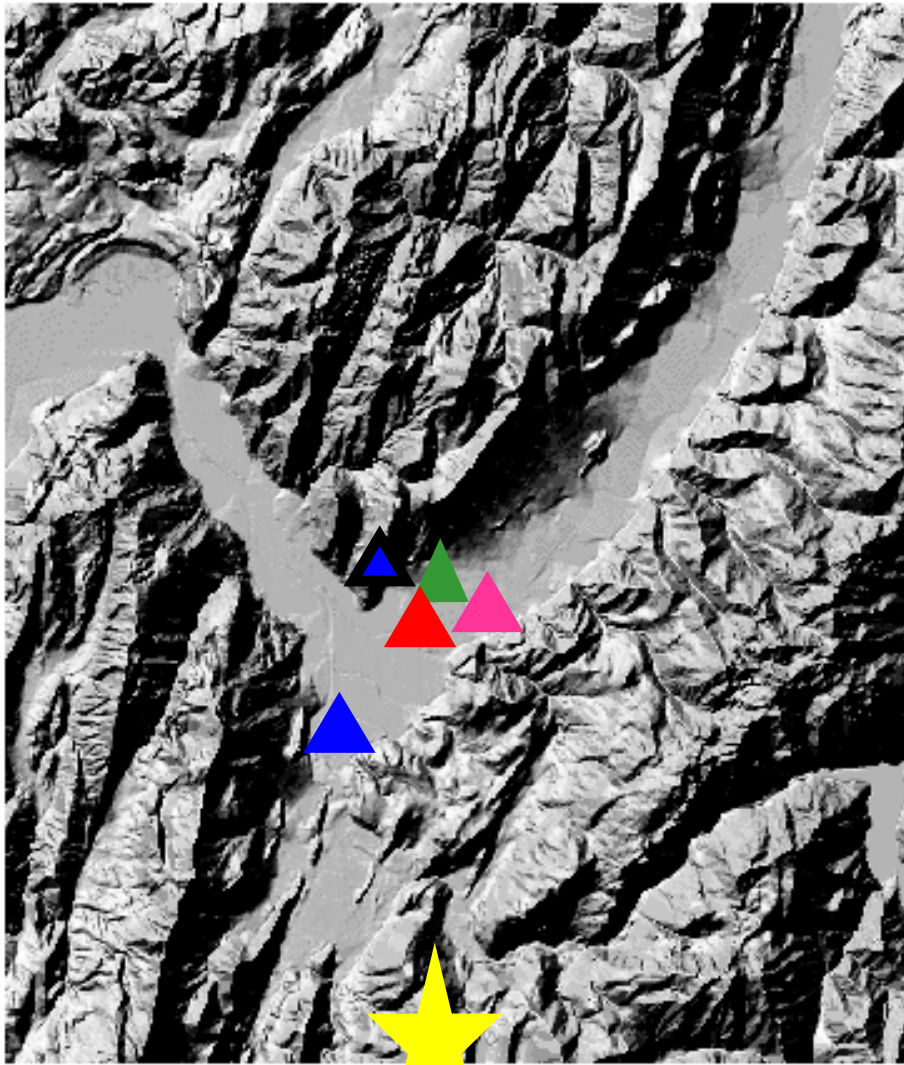
## Remerciements / Contributions

*S. Alvarez, F. Anselmetti, C. Barnaba, L. Bassi, PY Bard, C. Beck, D. Boiero, C. Bordes, L. Bourjot, F. Broccolato, M. Campillo, C. Cauzzi, E. Chapron, C. Comina, J. Converset, C. Cornou, G. Costa, M. De Batist, C. Eva, E. Faccioli, D. Föh, G. Ferretti, R. Figini, P. Finckh, E. Flavigny, P. Foray, S. Foti, S. Fritsche, E. Furlanetto, J.F Gamond, S. Garambois, D. Giardini, V. Giraud, M. Gisler, A. Gosar, J.R. Grasso, J.P Gratier, M. Grieder, P. Guéguen, R. Guiguet, S. Hatton, H. Havenith, H. Igel, L. Isella, L. Jenatton, J. Jerram, M. Käser, S. Labanieh, C. Lacave, B. Lebrun, F. Lemeille, L. Marelllo, M. Massa, G. Menard, O. Méric, G. Nicoud, F. Palmieri, G. Panza, R. Paolucci, M. Pasqualotto, L. Pitet, E. Priolo, B. Rinderknecht, M. Romanelli, D. Roten, J.-D. Rouiller, S. Roussel, P. Roux, L.V. Socco, G. Stamm, L. Stehly, M. Stupazzini, P. Suhadolc, S. Tadenuma, C. Turino, F. Vaccari, M. Vallon, P. Van Rensbergen, J. Verbeke, D. Villa, C. Voisin, A. Vuan, R. Wisén, P. Zoni, P. Zweifel*

## Porteurs grenoblois

*PY Bard (LGIT, LCPC)*  
*L. Bourjot (Bourjot Environnement)*  
*C. Cornou (LGIT, IRD)*  
*E. Chaljub (LGIT, UJF)*  
*P. Foray (3S, INPG)*  
*P. Guéguen (LGIT, LCPC)*  
*S. Cartier (LGIT, CNRS)*

# Effet de site : exemple de Grenoble



## Vallées glaciaires

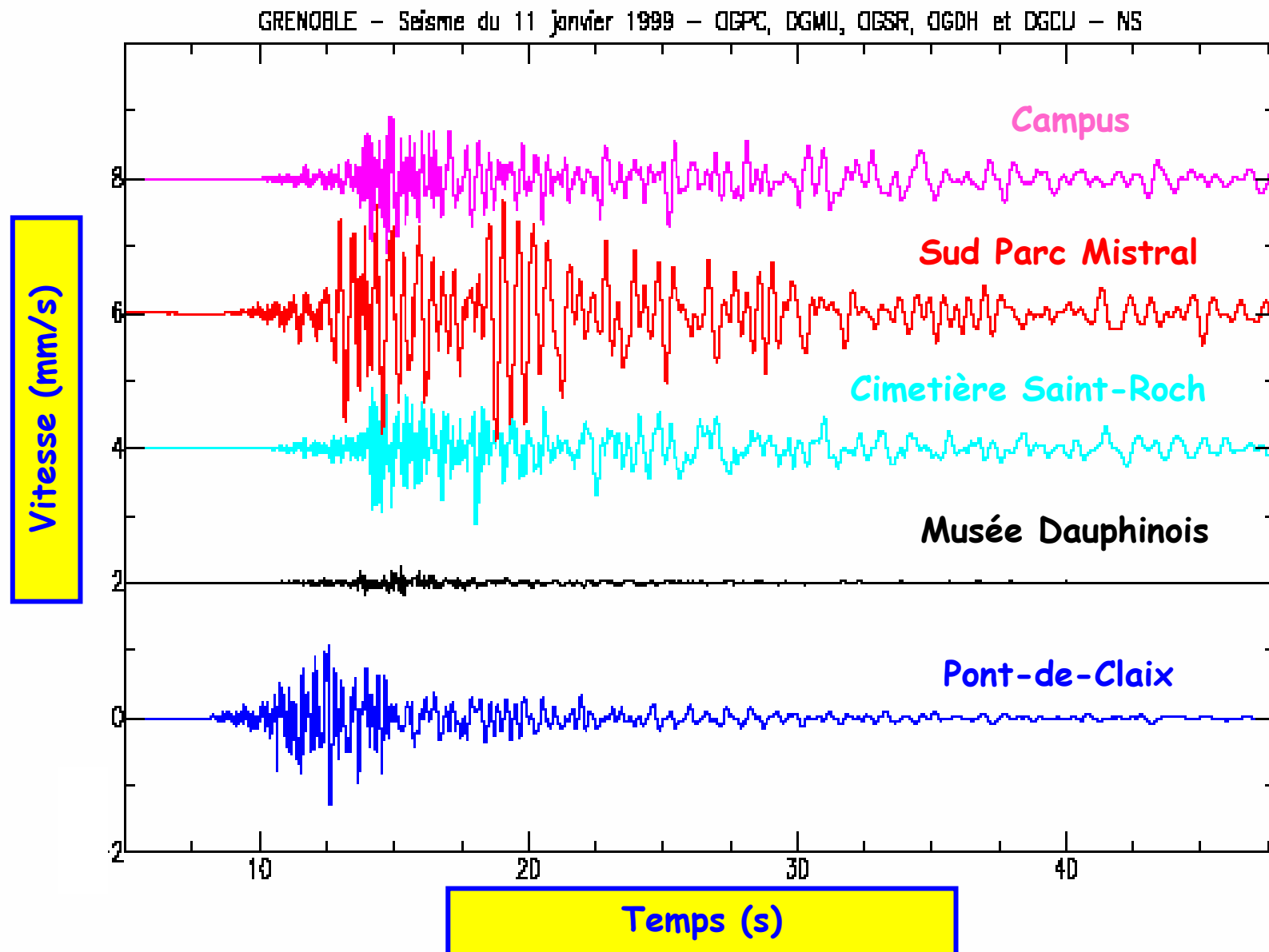
- Dépôts récents (post glaciaires : < 25 000 ans)
- lacustre épais
  - argiles
  - $h > 900$  m
- Géométrie 2D / 3D : très encaissée
- Substratum très rigide

## Sismicité modérée mais

- Urbanisation s'étendant à toute la vallée
- Enjeux importants (nucléaire, chimie, High-tech)

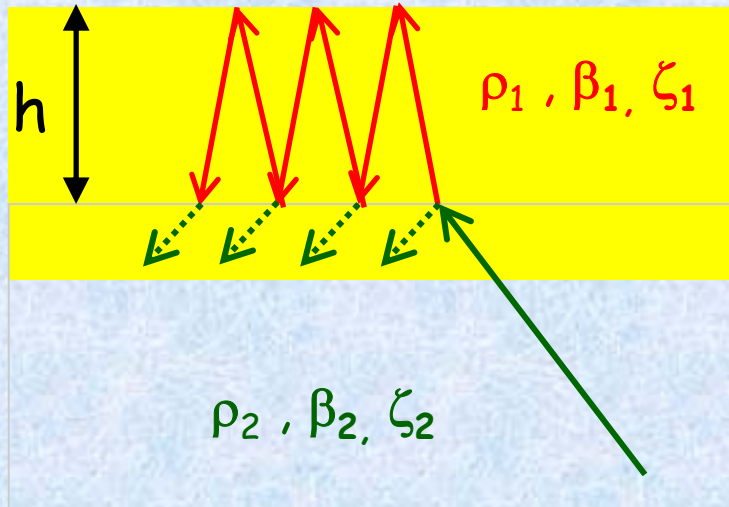
Exemple : séisme de Laffrey

# Exemple d'effets de site : Enregistrements à Grenoble du séisme de Laffrey du 11/01/1999

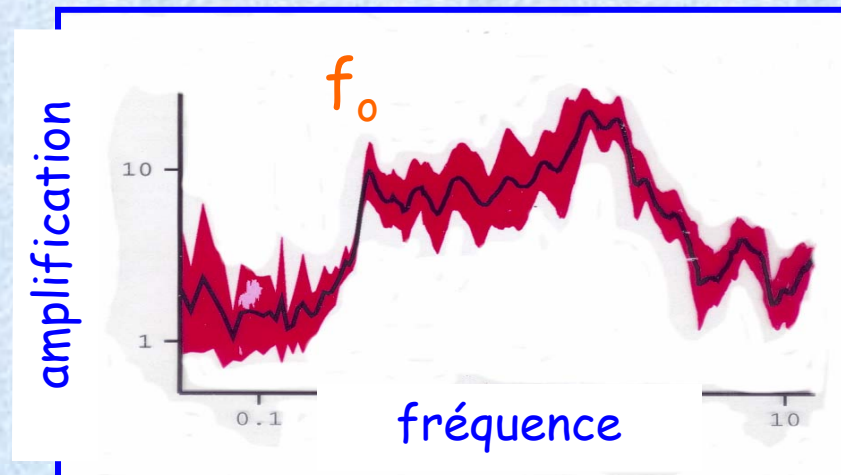
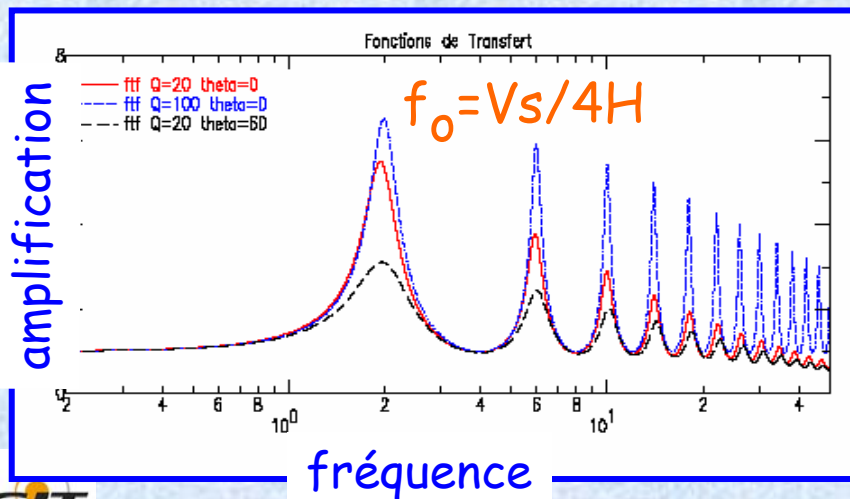
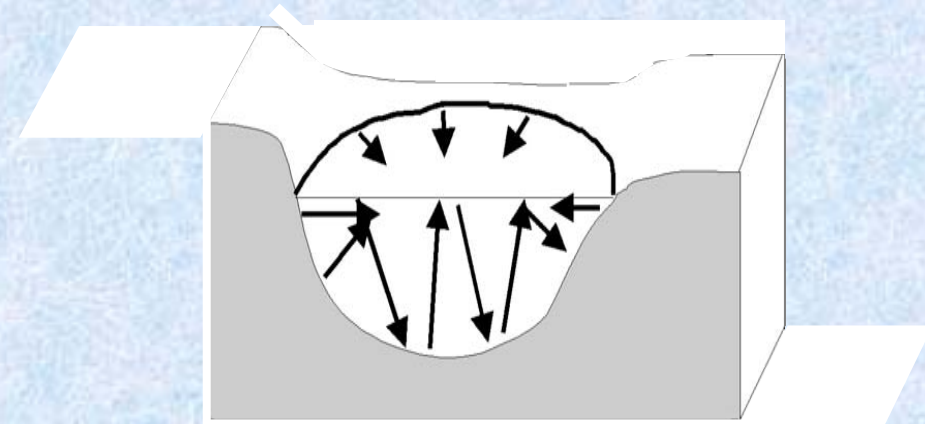


# Origine de l'amplification

1) Cas 1D :  
réverbérations verticales



2) Cas 2D / 3D  
Réverbérations latérales



# Plan de l'exposé

**Introduction: genèse du projet SISMOVALP**  
Effets de site sismiques en vallées alpines

## Estimation de l'aléa sismique dans les vallées alpines

Approche instrumentale : enregistrement de séismes

Approche numérique

reconnaissance des vallées

calcul numérique

Comparaison entre la future réglementation EC8 et les résultats de Sismovalp

**Conclusions et livrables**

# Projet SISMOVALP : Partenaires



Université Gênes

CREALP

LGIT (UJF, LCPC, IRD) Grenoble

EARS Ljubjana

Politecnico Milano

Université Munich

BRGM Orléans

(Politecnico Torino)

Observatoire Géophysique de Trieste

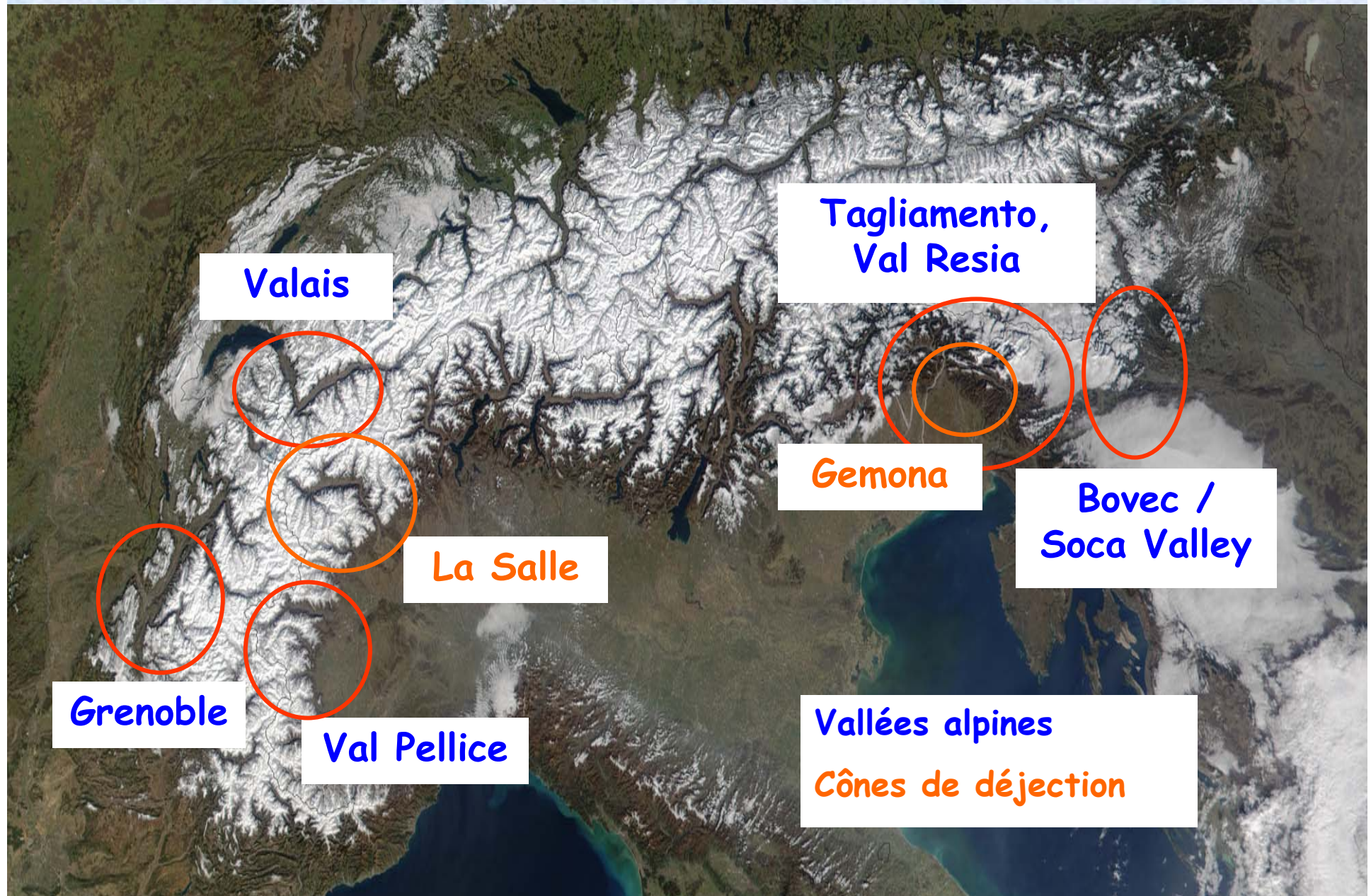
Université Trieste

ETH Zürich

+ régions/cantons correspondants



# Vallées alpines étudiées au cours de Sismoalp



Valais

Tagliamento,  
Val Resia

Gemona

Bovec /  
Soca Valley

La Salle

Grenoble

Val Pellice

Vallées alpines  
Cônes de déjection

# Plan de l'exposé

**Introduction: genèse du projet SISMOVALP**  
Effets de site sismiques en vallées alpines

## Estimation de l'aléa sismique dans les vallées alpines

Approche instrumentale : enregistrement de séismes

Approche numérique

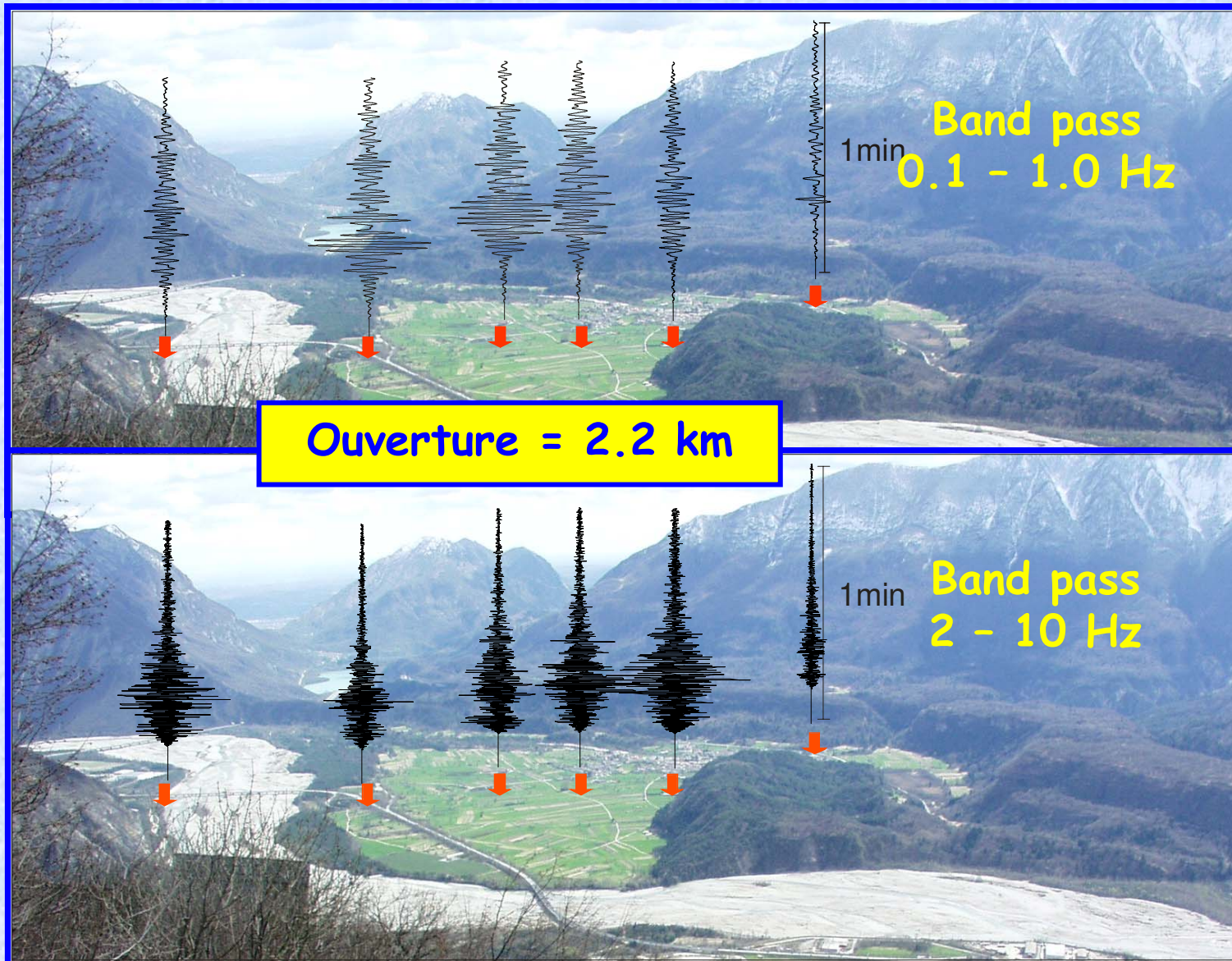
reconnaissance des vallées

calcul numérique

Comparaison entre la future réglementation EC8 et les résultats de Sismovalp

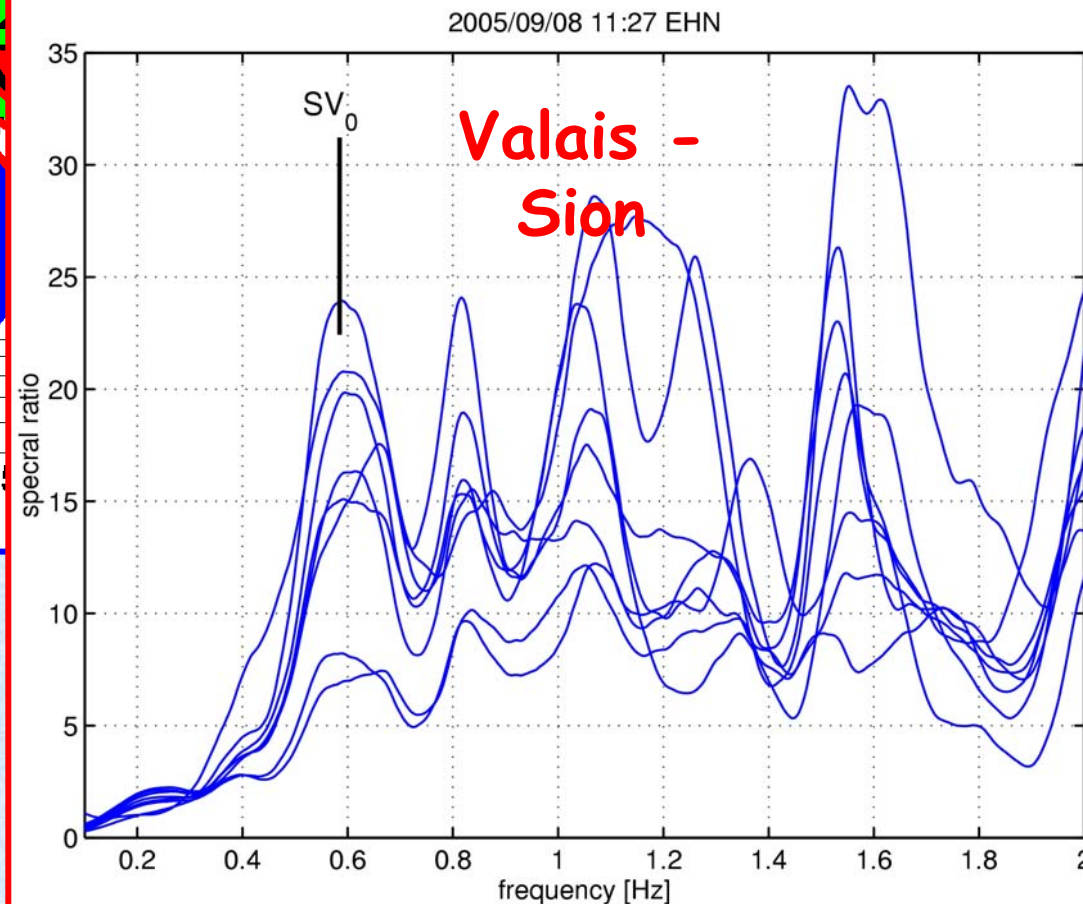
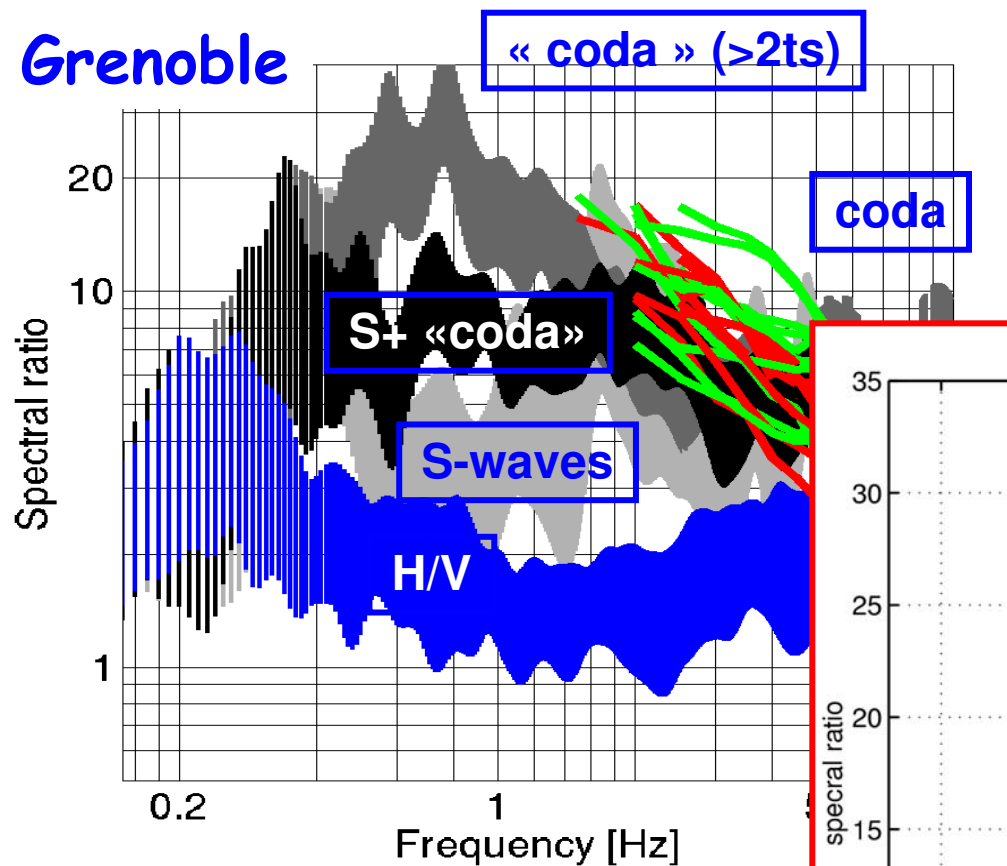
**Conclusions et livrables**

# Vallée du Tagliamento : enregistrements sismiques Kobarid, MD=5.1, 12.07.2004 (45 Km)



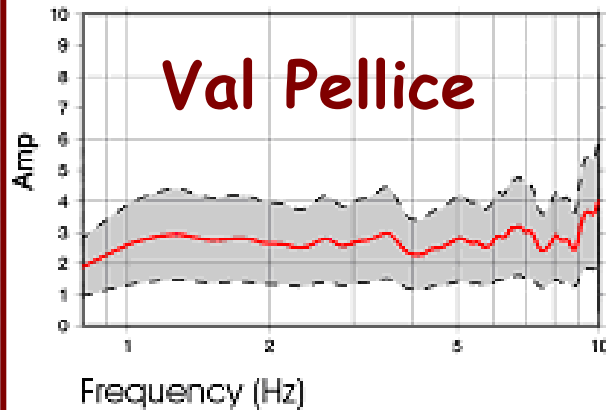
# Exemples de courbes d'amplification

Grenoble

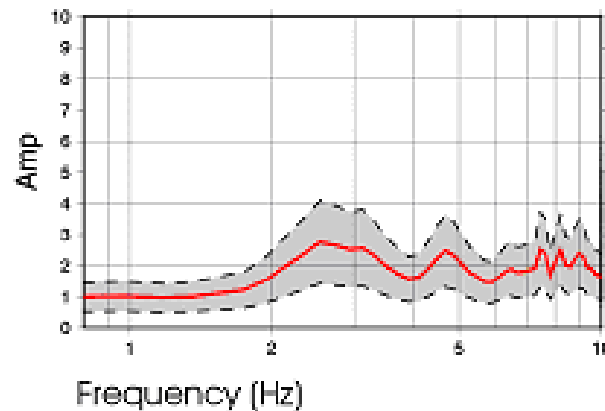


# Exemples de courbes d'amplification

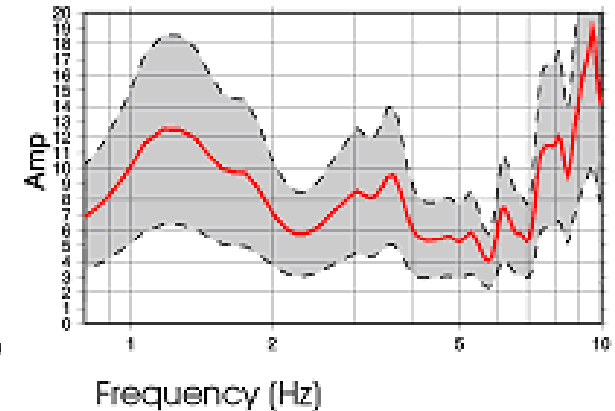
Pe02 - alluvial fan



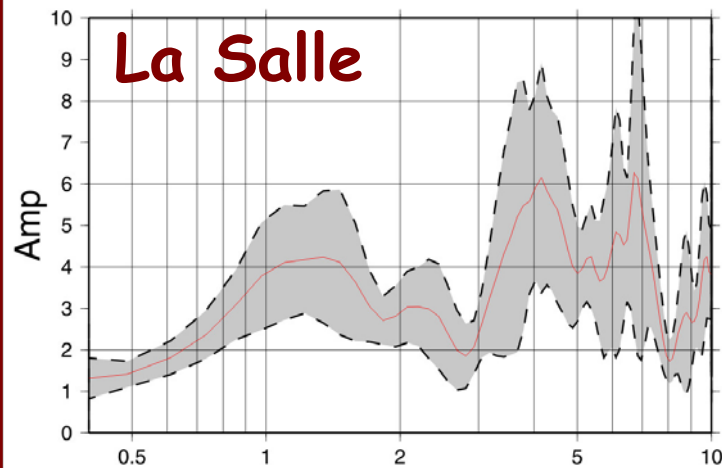
Pe06 - alluvial terraces



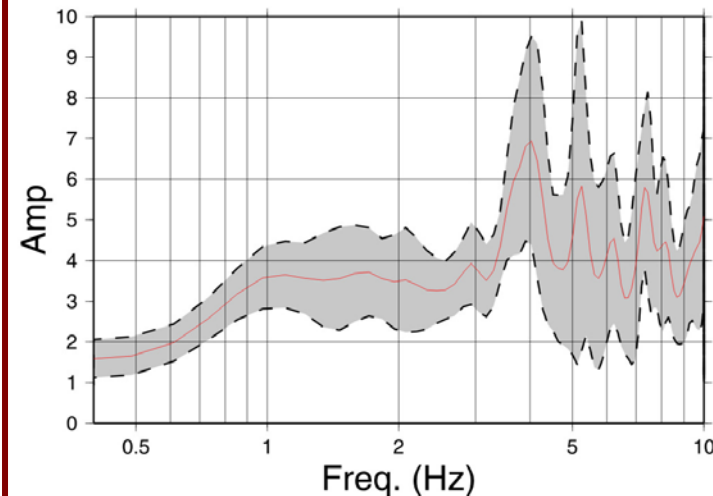
Pe07 - river bed



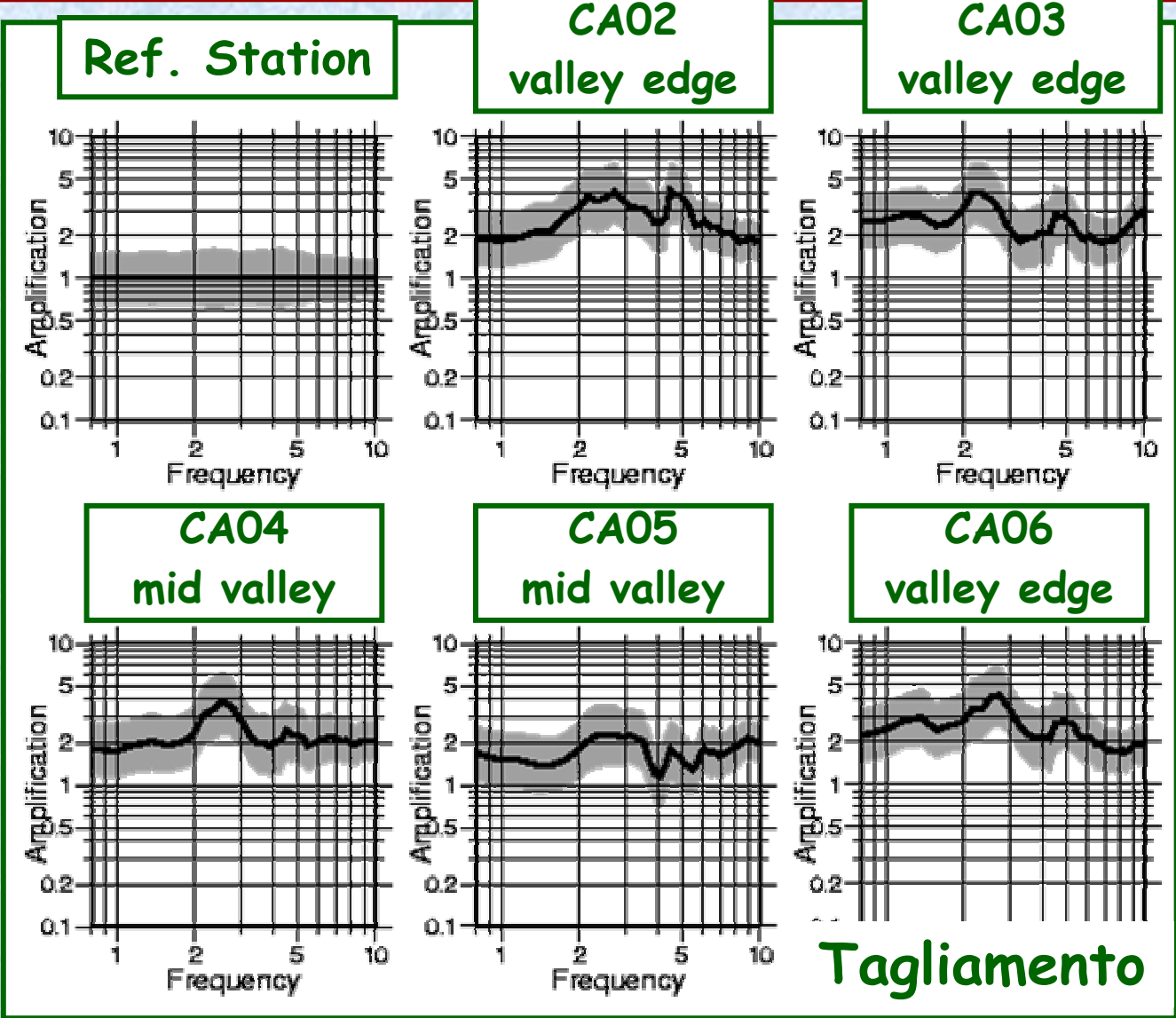
lsv6\_ew



lsv6\_ns



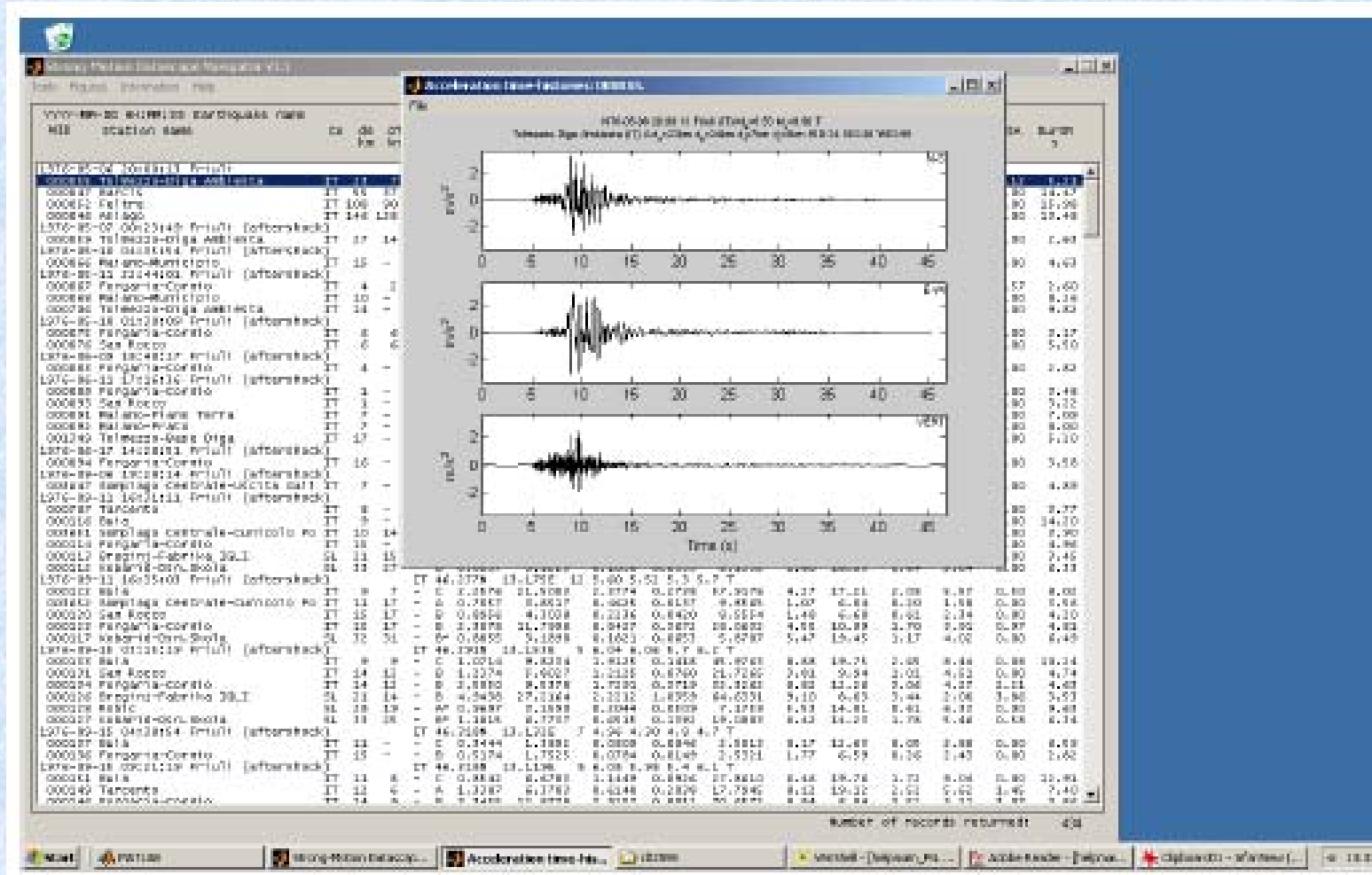
# Exemples de courbes d'amplification



Tagliamento

# CDROM 1 (disponible)

Données accélérométriques alpines (France, Italie, Suisse)



# Plan de l'exposé

**Introduction: genèse du projet SISMOVALP**  
Effets de site sismiques en vallées alpines

## Estimation de l'aléa sismique dans les vallées alpines

Approche instrumentale : enregistrement de séismes

Approche numérique

reconnaissance des vallées

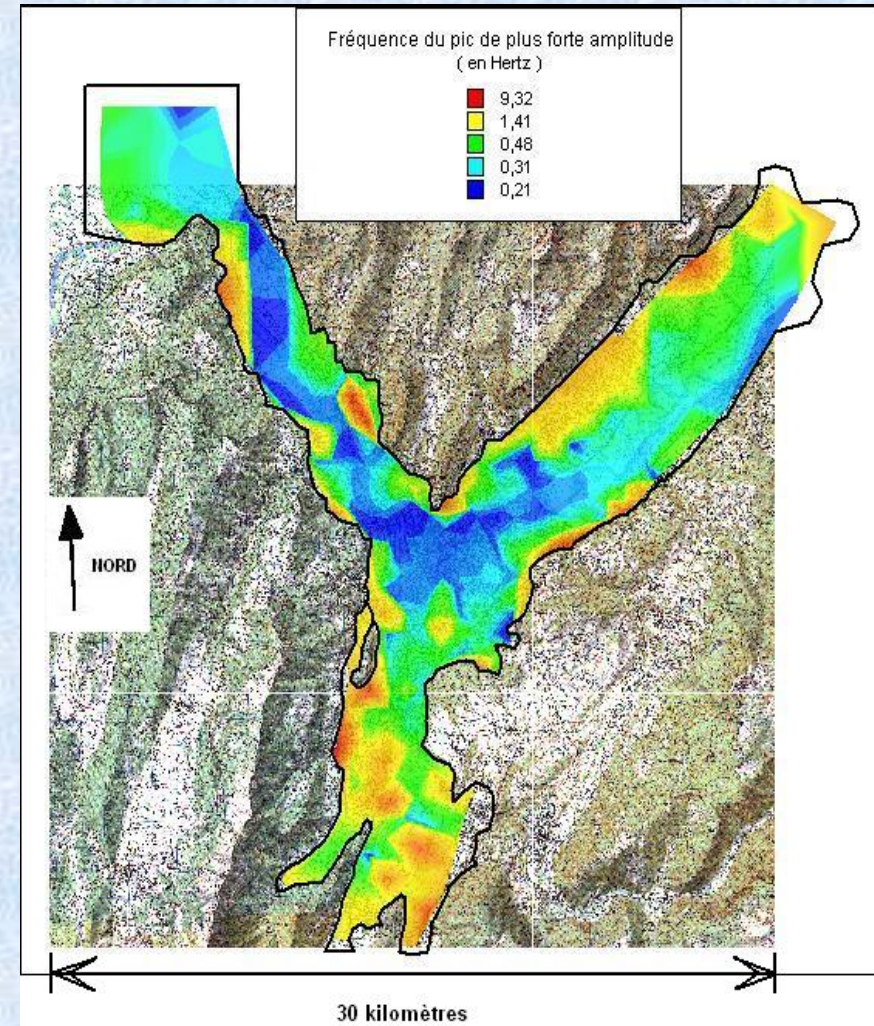
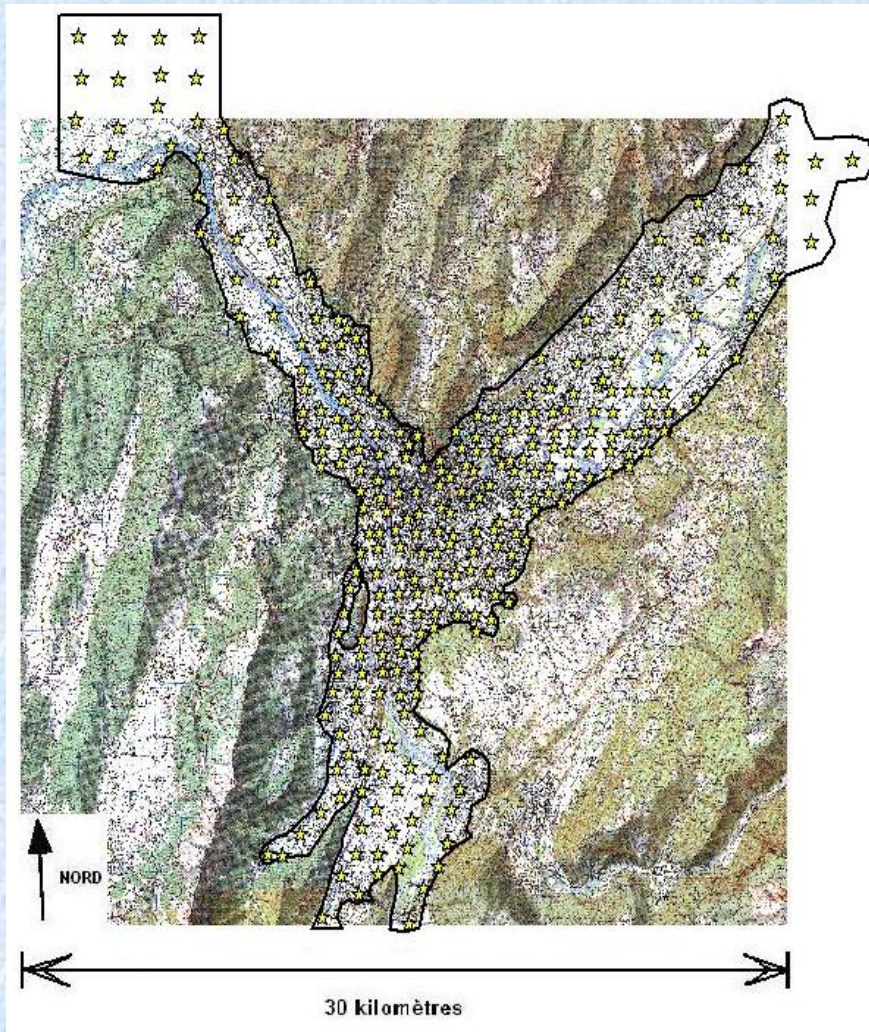
calcul numérique

Comparaison entre la future réglementation EC8 et les résultats de Sismovalp

**Conclusions et livrables**

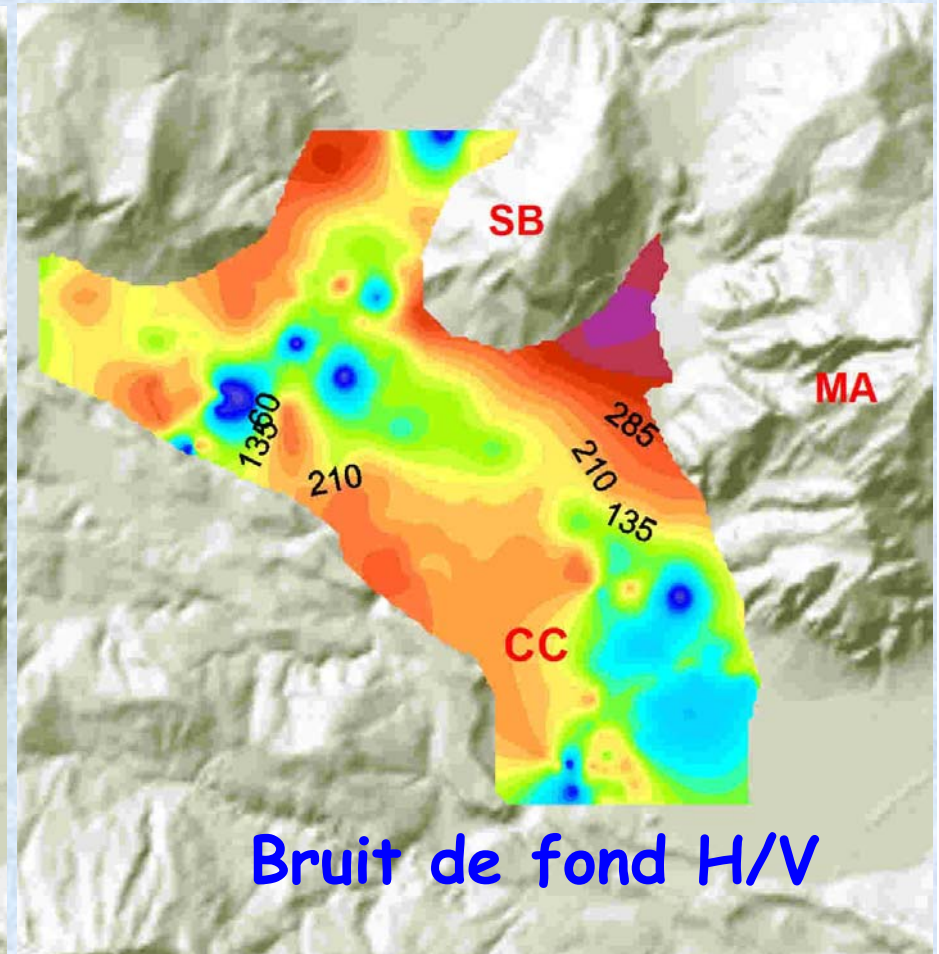
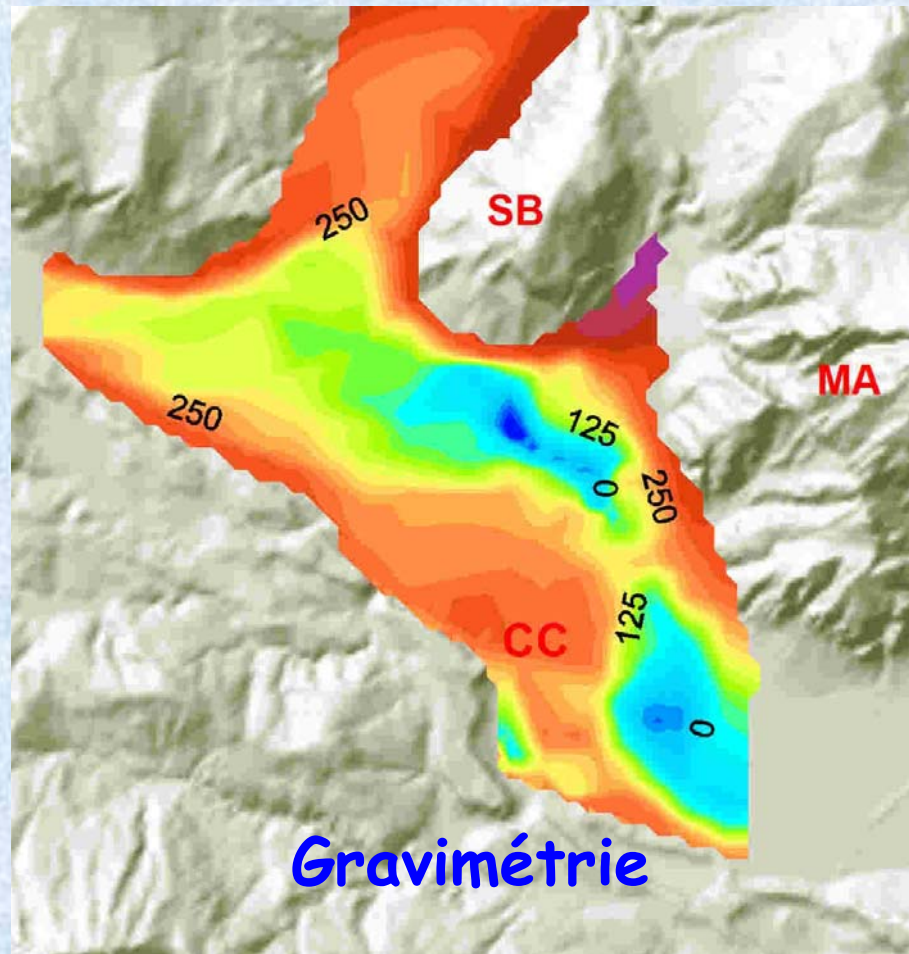


# Résultats bruit de fond Grenoble



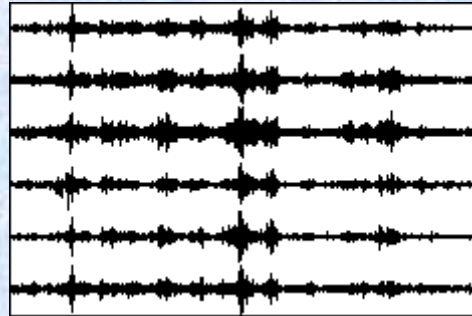
Banton et Guéguen, 2004

# Exemple : Tagliamento (Friul)

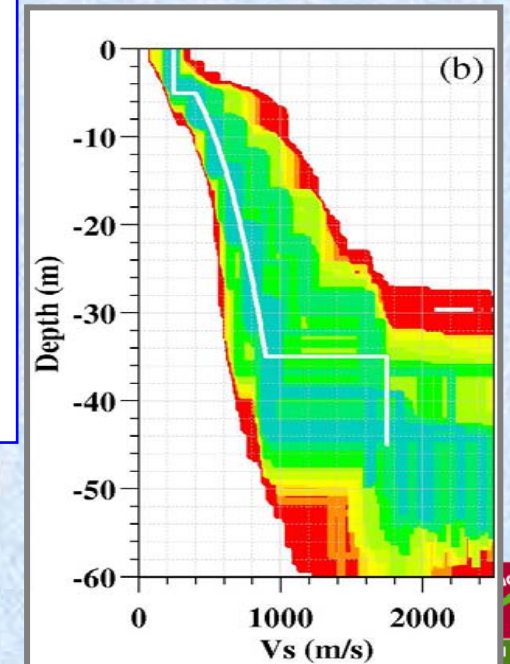
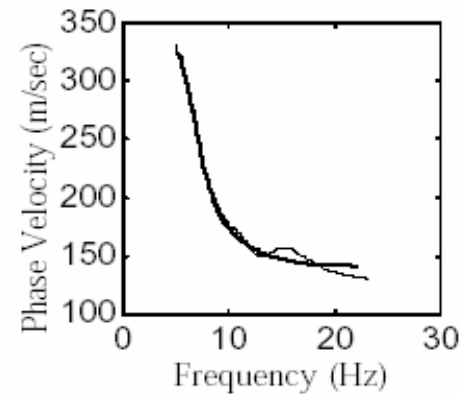


Courbes d'iso-altitude de l'interface sédiments - substratum

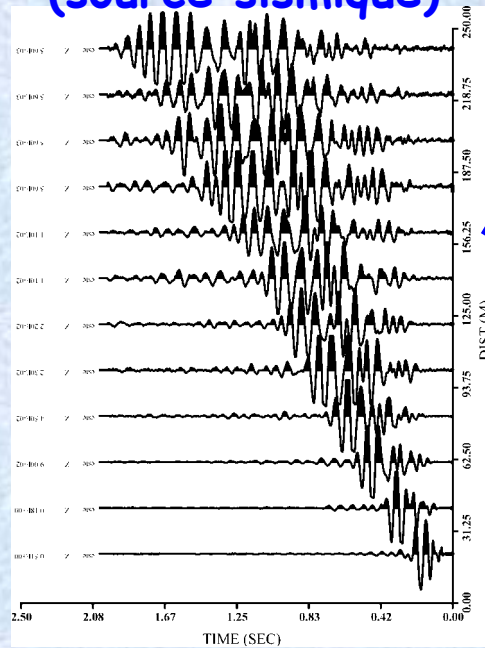
# Bruit de fond réseau : principe



Courbe de dispersion

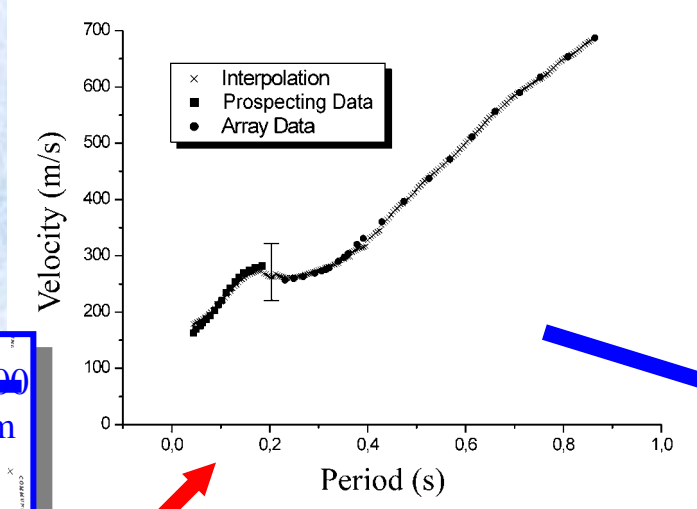


# Manip active SASW (source sismique)

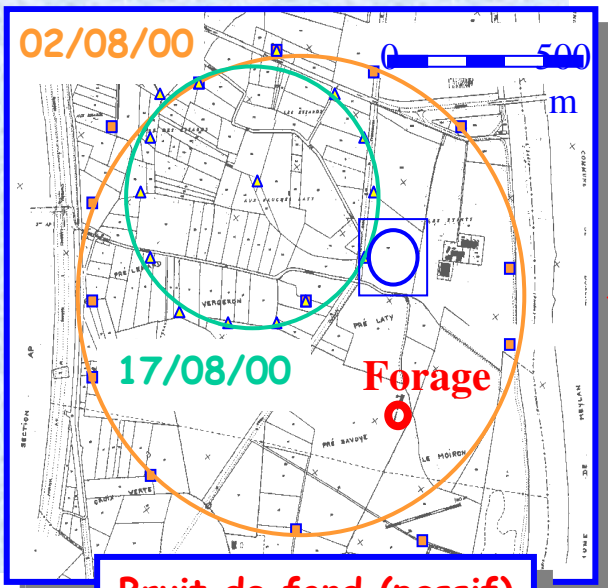
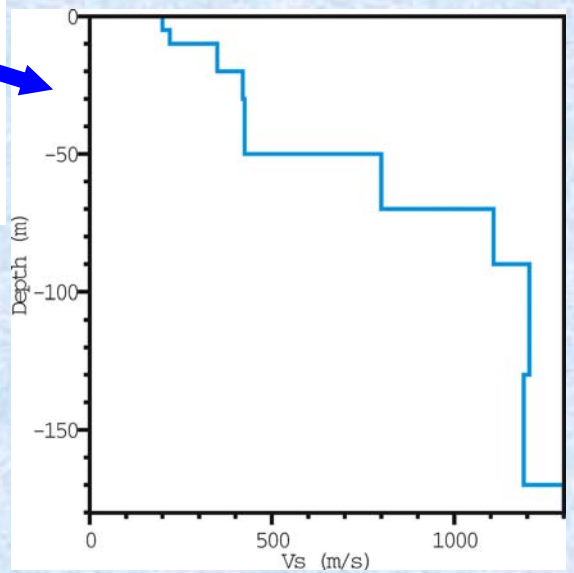


Cou

Principe similaire à la méthode SASW, avec sources différentes : passives et inconnues



Profil de vitesse

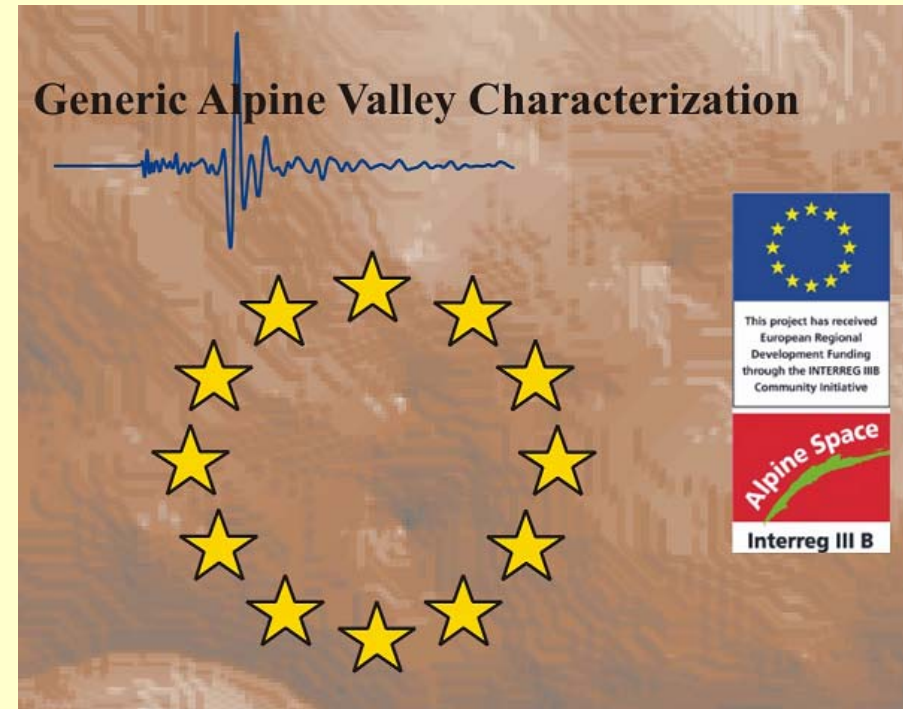


Bruit de fond (passif)

# CDROM 2 (diffusé début 2007)

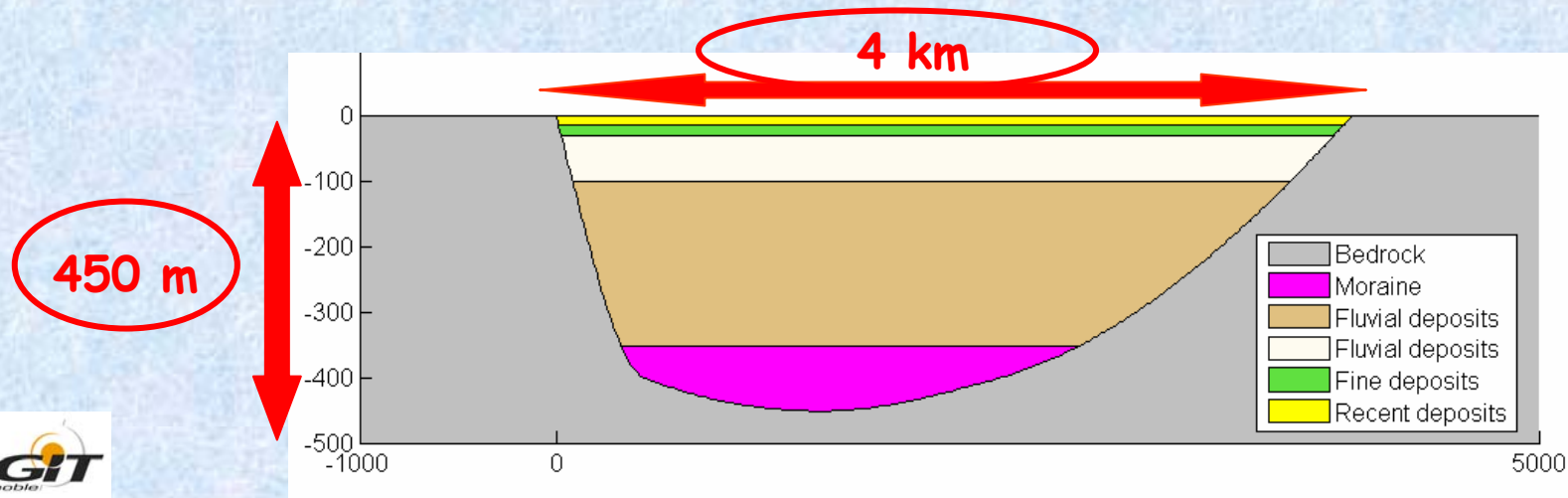
Paramètres (géologiques et géophysique)des 8 vallées étudiées

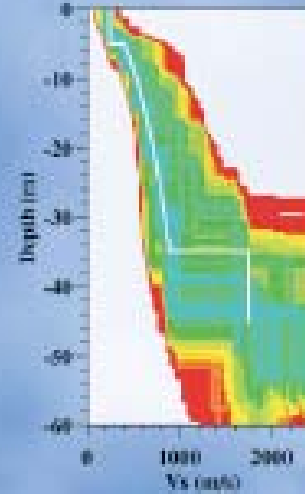
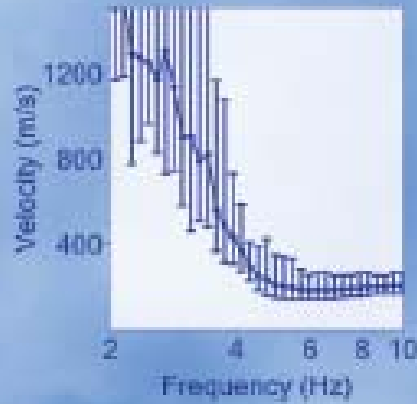
Synthèse des publications sur l'estimation de l'aléa sismique dans les vallées alpines (France, Italie, Suisse)



## Vallée alpine "type"

Stratigraphic layout	Units	H (m)	$V_s$ (m/s)	$V_p$ (m/s)	$V_p/V_s$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$Q_s$	$Q_p$
Recent Deposits	Sandy Gravel	0-15	250	500	2.5	1600	20	40
Fine Deposits	Silt & clay	15-30	350	700	2.5	1700	20	40
Fluvial & Lacustrine Deposits	Silt, clay & gravel	30-100	450	900	2.5	1800	30	50
Fluvial & Lacustrine Deposits	Silt, clay & gravel	100-350	600	1200	2.5	1900	30	50
Moraine	=	350-450	800	1600	2	2000	50	100
Bedrock	Limestone	450-∞	2800	5200	1.85	2500	200	400





## ESG2006 Numerical benchmark

2006

International Symposium

**3<sup>rd</sup> ESG, Grenoble**

## Results received : details

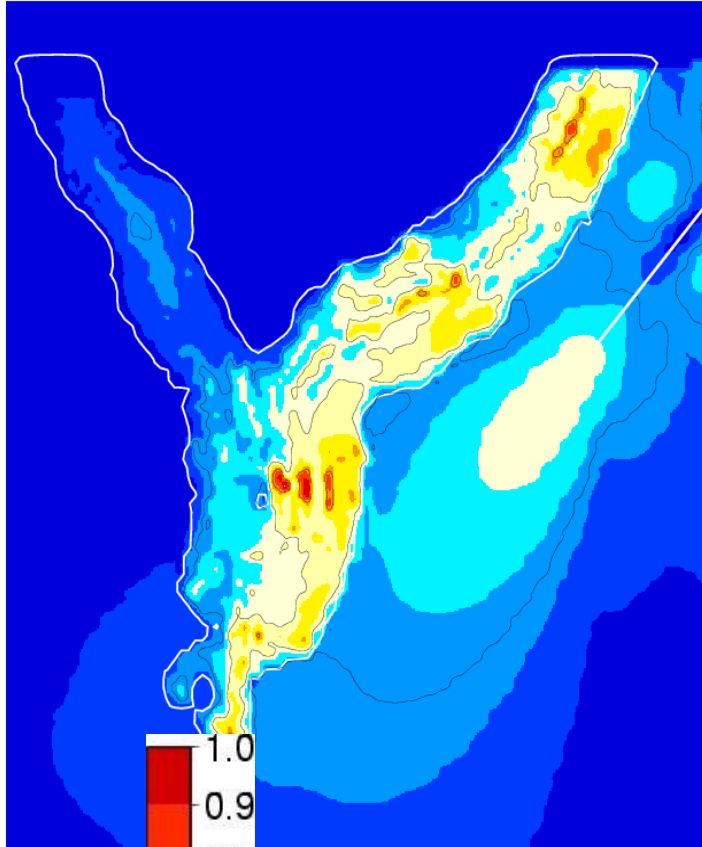
ID #	Method	(Non)Linear	Topography	Max freq	# cases	Rules followed
1	EM	No	–	40 Hz	2	Yes
2	EM	No	–	10 Hz	2	No
3	EM	No	–	40 Hz	2	No
4	1D/2D	Yes	No	10 Hz	2	No
5	1D/2D	Yes	No	50 Hz	2	No
6	2D	Yes	No	8 Hz	2	No
7	2D	No	No	8 Hz	4	Yes
8	3D	No	No	1 Hz	4	No
9	3D	No	Yes	2 Hz	2	No
10	3D	No	Yes	2.5 Hz	1	No
11	3D	No	Yes	2 Hz	8	Yes
12	3D	No	No	0.5 Hz	4	No
13	3D	No	No	2 Hz	4	Yes
14	3D	No	No	0.5 Hz	4	Yes

- Methods: Empirical Green's Functions, Aki-Larner, Boundary Elements, Finite Differences, Spectral Elements, Discontinuous Galerkin.
- State-of-practice: 2D non-linear with realistic fmax, 3D linear at 2 Hz, free-style restricted to 1D or EM.

[Back](#)

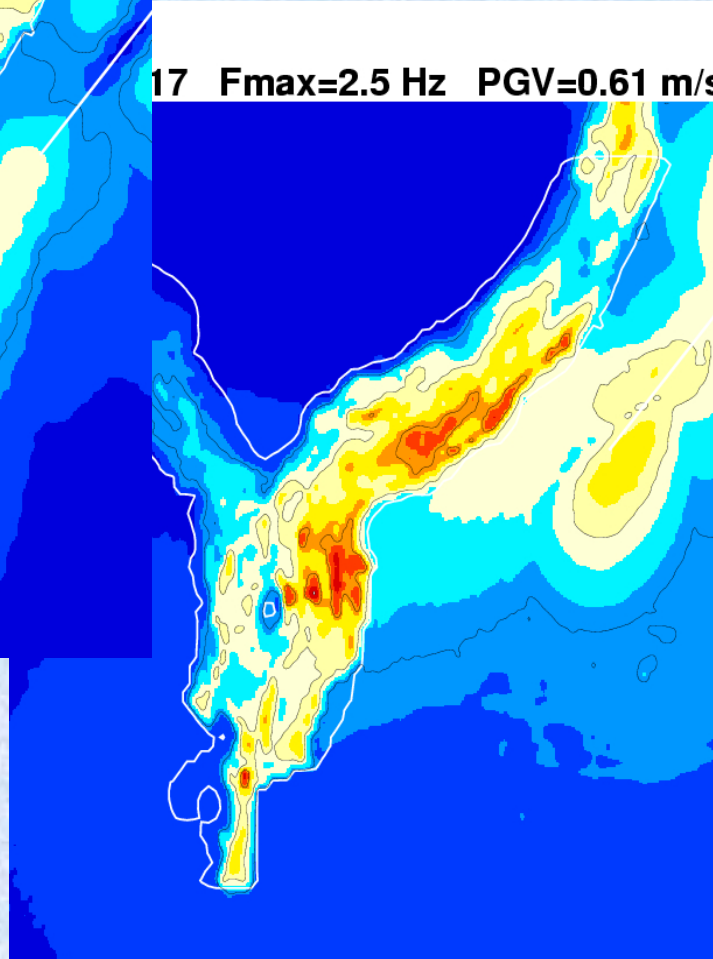


ID10 Fmax=2 Hz PGV=1.43 m/s

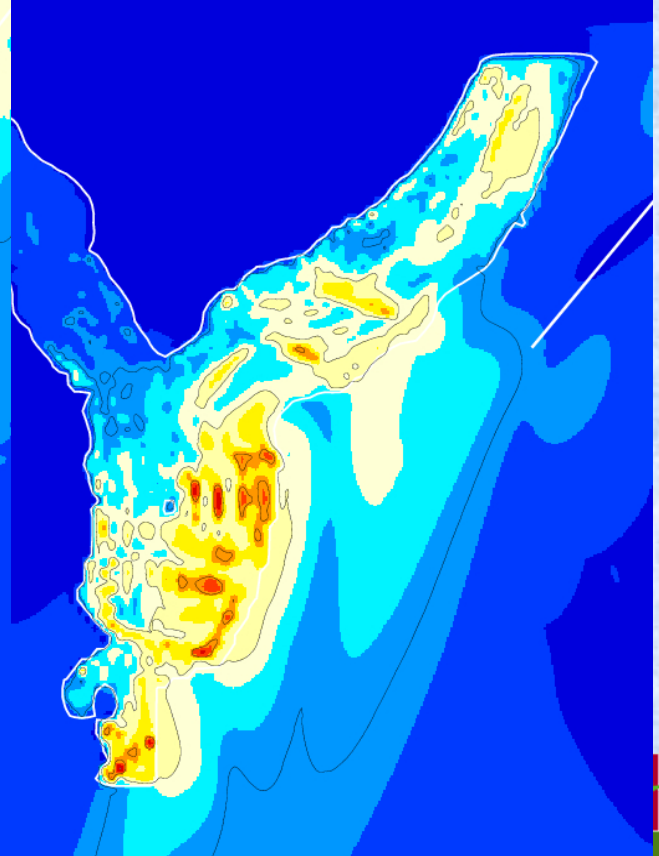


# Comparaisons des cartes de PGV

17 Fmax=2.5 Hz PGV=0.61 m/s



ID15 Fmax=2 Hz PGV=1.58 m/s



# Éléments les plus importants

Élément	Importance
Géométrie (1D, 2D, 3D) et épaisseur	Haute
Contraste d'impédance principal (e.g. bedrock/sédiments)	Haute
Vs Profil moyen	Moyenne-haute (BF)
Vs à faible profondeur (30-50 m)	Moyenne-haute (HF)
Schéma numérique	Moyenne (-basse)
Détails de la forme géométrique	Moyenne-haute (HF)
Détails du profil de vitesse Vs(z)	Faible
Choix des accélérogrammes incidents	Haute (BF)
Déconvolution "rocher dur"	Moyenne (HF)

# Etape suivante : méthodes recommandées

Élément	Importance	Méthodes
Géométrie (1D, 2D, 3D) et épaisseur	H	1- Gravimétrie 2-sismique
Contraste d'impédance principal (e.g. bedrock/sédiments)	H	1- Sismique 2-Analogie(CDROM2)
Vs Profil moyen	MH (BF)	(BDF)
Vs à faible profondeur (30-50 m)	MH (HF)	BDF / Sismique active
Schéma numérique	M	Contrôle + calibration enregistrements
Détails de la forme géométrique	MH (HF)	à préciser
Détails du profil de vitesse Vs(z)	Faible	??
Choix des accélérogrammes incidents	Haute (BF)	Accélérogrammes réels digitaux !
Déconvolution "rocher dur"	Moyenne (HF)	1D, Profil stations rocher

# Plan de l'exposé

**Introduction: genèse du projet SISMOVALP**  
Effets de site sismiques en vallées alpines

## Estimation de l'aléa sismique dans les vallées alpines

Approche instrumentale : enregistrement de séismes

Approche numérique

reconnaissance des vallées

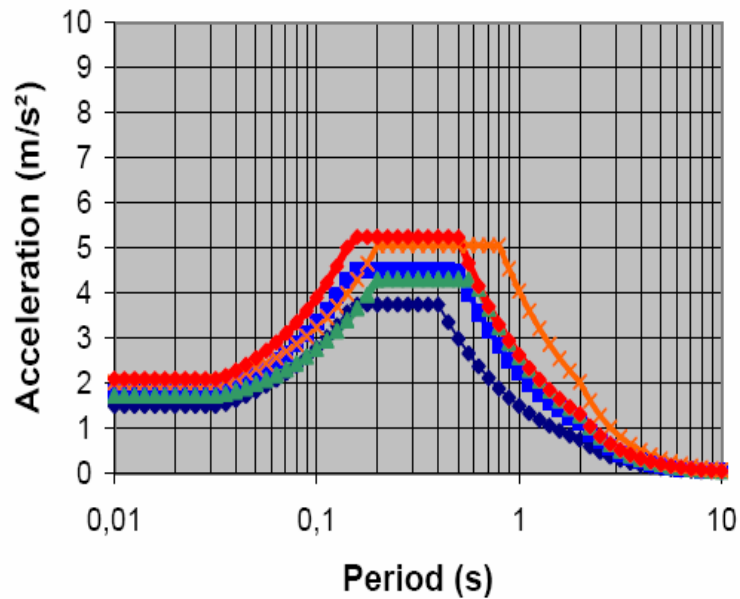
calcul numérique

Comparaison entre la future réglementation EC8 et les résultats de Sismovalp

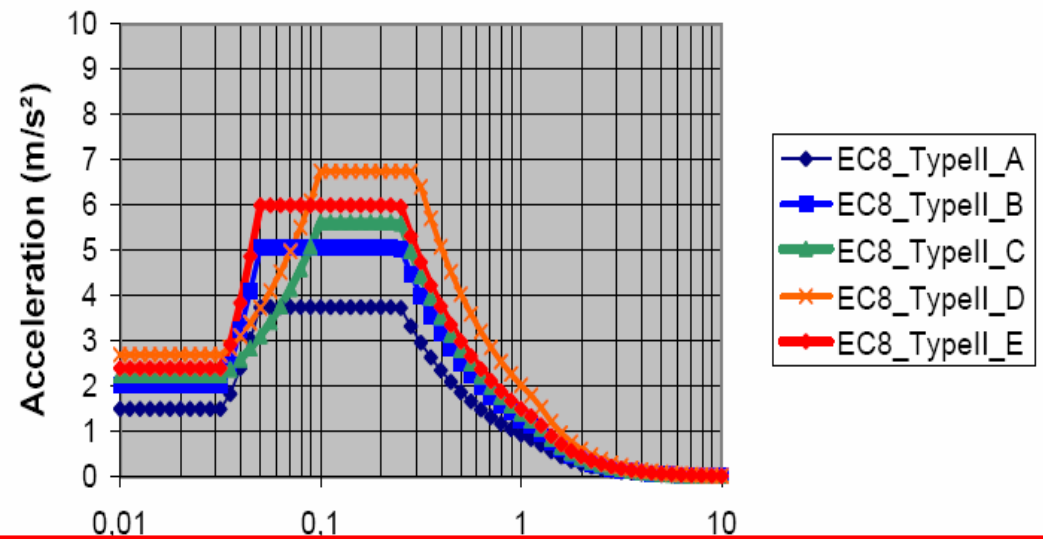
**Conclusions et livrables**

# Spectres EC8

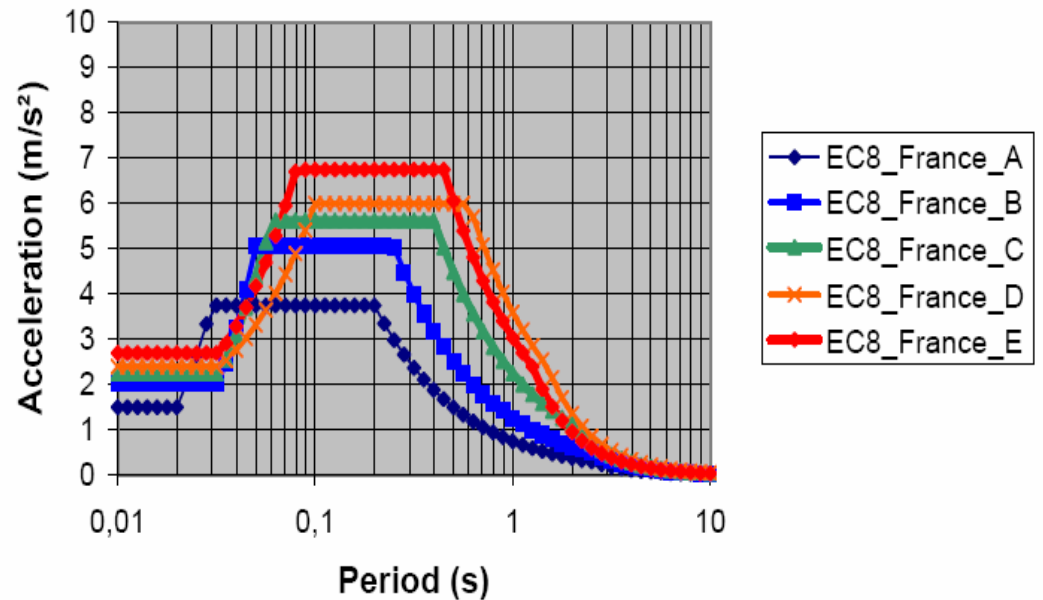
## EC8 Type I Spectra



## EC8 Type II Spectra



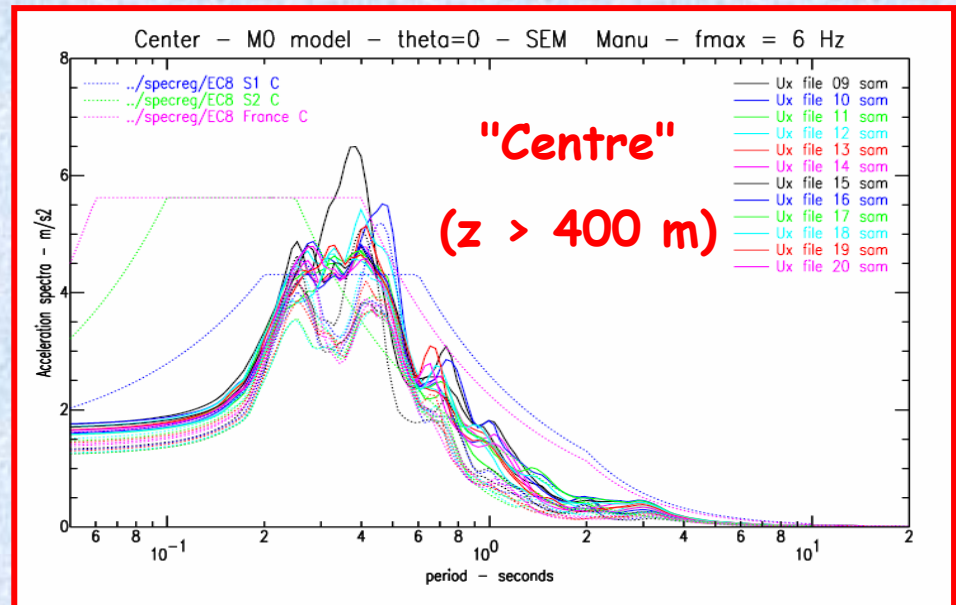
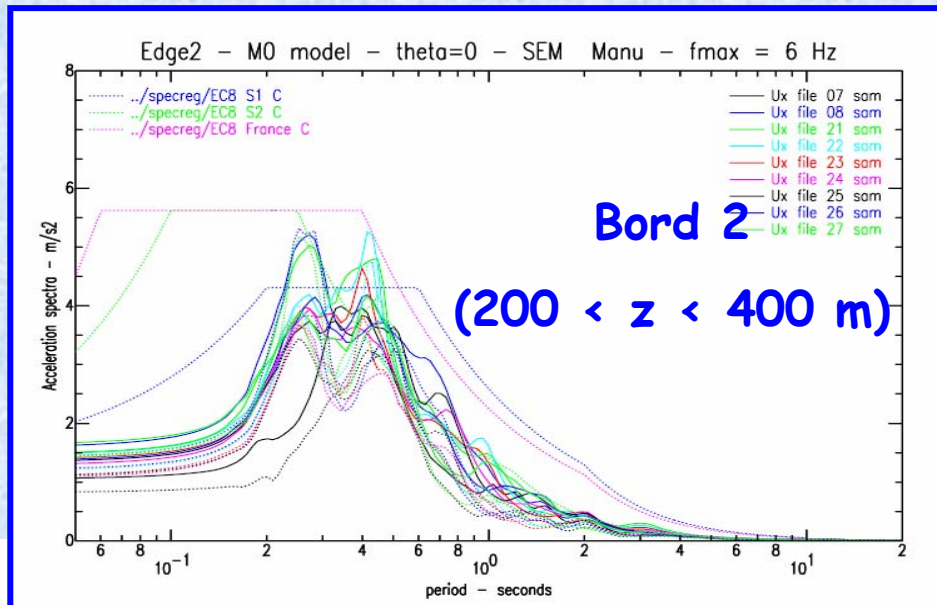
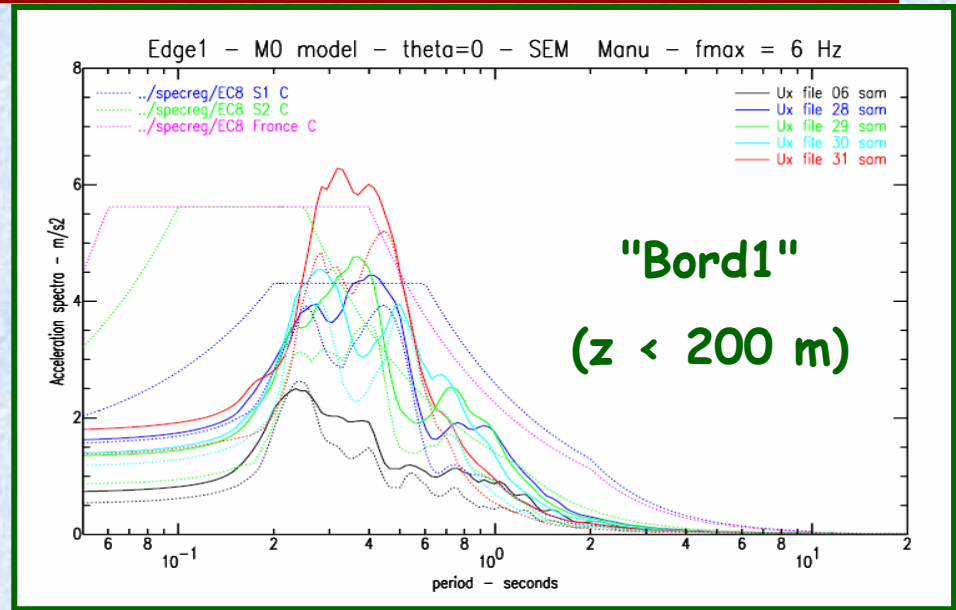
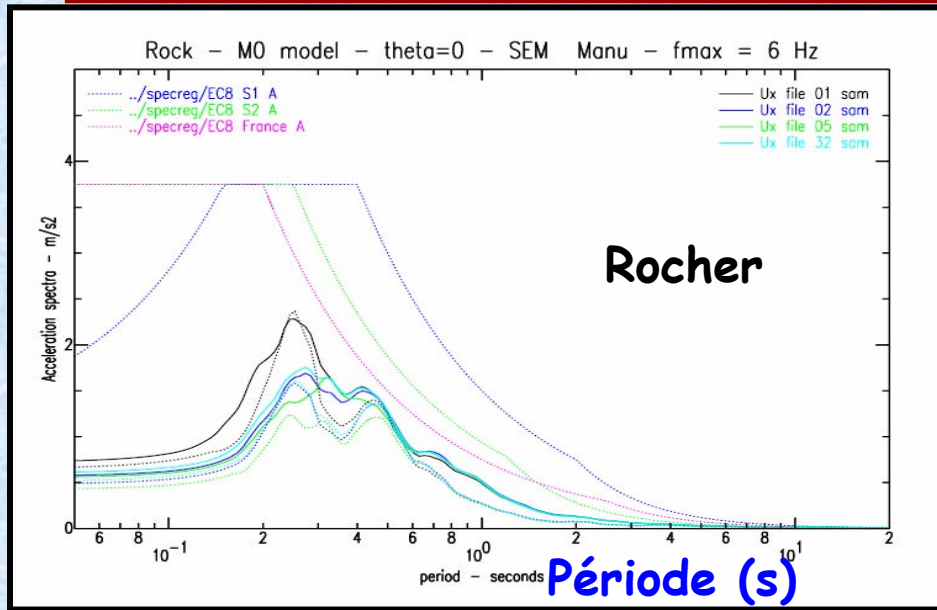
## EC8 Type Spectra - France



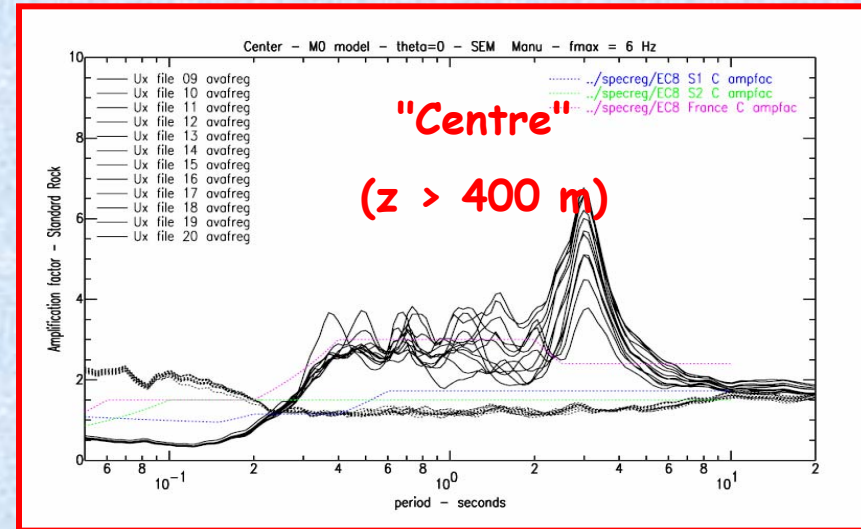
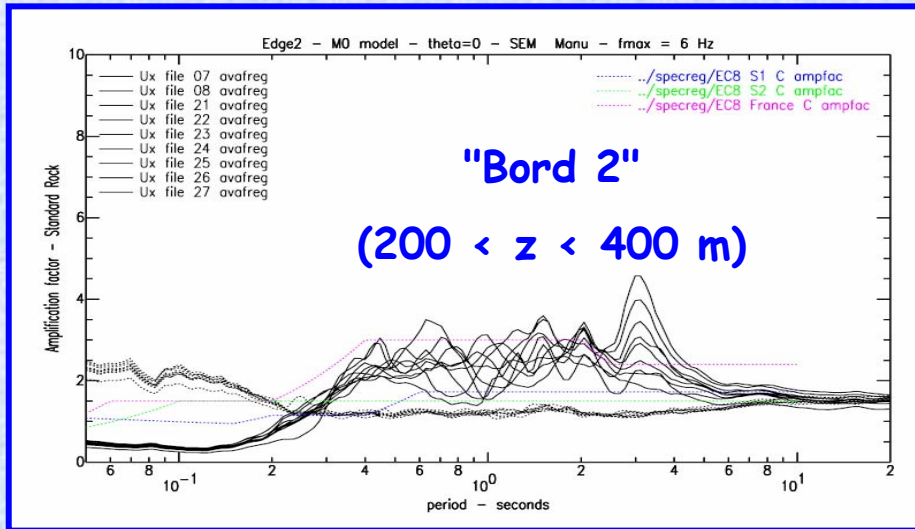
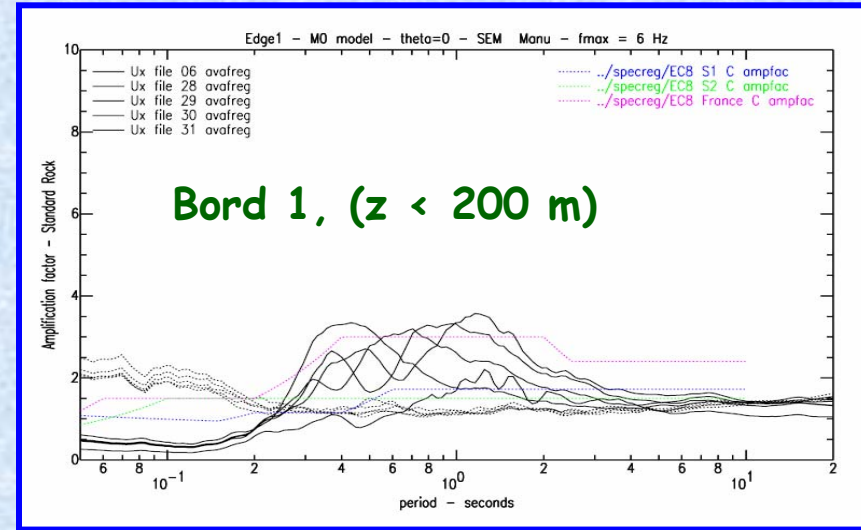
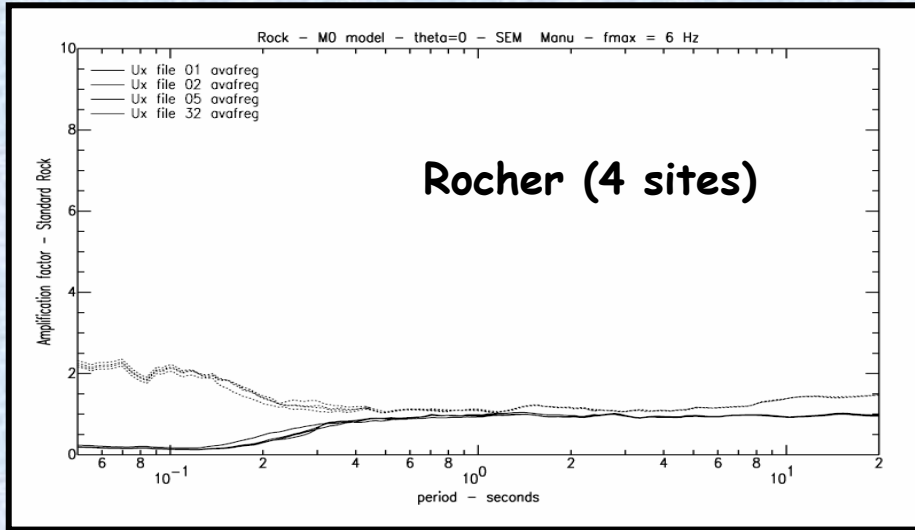
# Définition de "Spectres vallées alpines"

- a) Pour chaque site, définir un mouvement de référence au "rocher standard"
  - $V_{s30} = 800$  m/s,  $T = 475$  ans)
  - spectre EC8 Type 2 Classe A
- b) Déconvoluer pour obtenir le spectre au "rocher dur"
  - Nécessite un profil de vitesse "rocher"
- c) Sélectionner  $n$  accélérogrammes (réels) compatibles
- d) Calcule la réponse 2D (1D, 3D) à ces signaux incidents
  - Spectres de réponse en surface  $S_{surfi}$  ( $i=1, n$ )
- e) Comparer ces spectres aux spectres réglementaires
  - EC8 classes C, D, E,
  - microzones ...
- f) Comparer aussi les facteurs d'amplification (rapports des spectres de réponse)
  - Par rapport au "rocher local"
  - Par rapport au "rocher standard"

# Spectres de réponse / zone



# Facteurs d'amplification / zone





# Conclusions

Procédure utilisable telle quelle pour études spécifiques

Choix des accélérogrammes incidents : travail en cours

- Contenu longue période : ? Sécurité inhérente aux spectres EC8 ?

Spectres

- Spectres EC8 Type 2 NON RECOMMANDÉS pour les sols, surtout si site à fréquence  $> 1$  Hz
- Degré de sécurité plus élevé au rocher qu'en vallée

Facteurs d'amplification

- (Trop) Faibles pour EC8 Type 1 et 2
- Possibilité de différencier différentes zones ("Bord", "Centre") ?
  - Large bande, fortes valeurs longue période au centre
  - Haute fréquence sur les bords

Reste à faire:

- Normalisation / fréquence fondamentale & dimensions
- Quelques études complémentaires (cas réels)

# Remarques finales

## Vallées alpines : configurations très particulières

- Fort encaissement
- Effets très importants, parfois / souvent non couverts par la réglementation "usuelle"
- Nécessité de méthodes de reconnaissances adaptées, à appliquer avec soin
- Recommandation forte d'instrumentation avec stations temporaires ou mieux permanentes
- Approche numérique prometteuse MAIS devant être effectuée de manière bien contrôlée
  - Risque de résultats très faux !

## Principaux livrables (autres que CDROM)

Quinze publications scientifiques de rang A (internationales à comité de lecture) publiées, acceptées ou soumises

Code de simulation "Wave2D" (SH, 2D, méthode Pseudospectrale, "user-friendly") de R. Paolucci (Polytechnico de Milan) sur demande

Codes d'inversion des données de bruits de fond réseau et documentation associée (<http://www.geopsy.org/>)

Procédure permettant d'obtenir les spectres spécifiques à une vallée alpine (publication en cours)