



Pôle Alpin Risques Naturels



Le risque sismique à Grenoble

Pierre-Yves Bard (*UGA/IFSTTAR/ISTerre*)



Plan

Résultats de la recherche

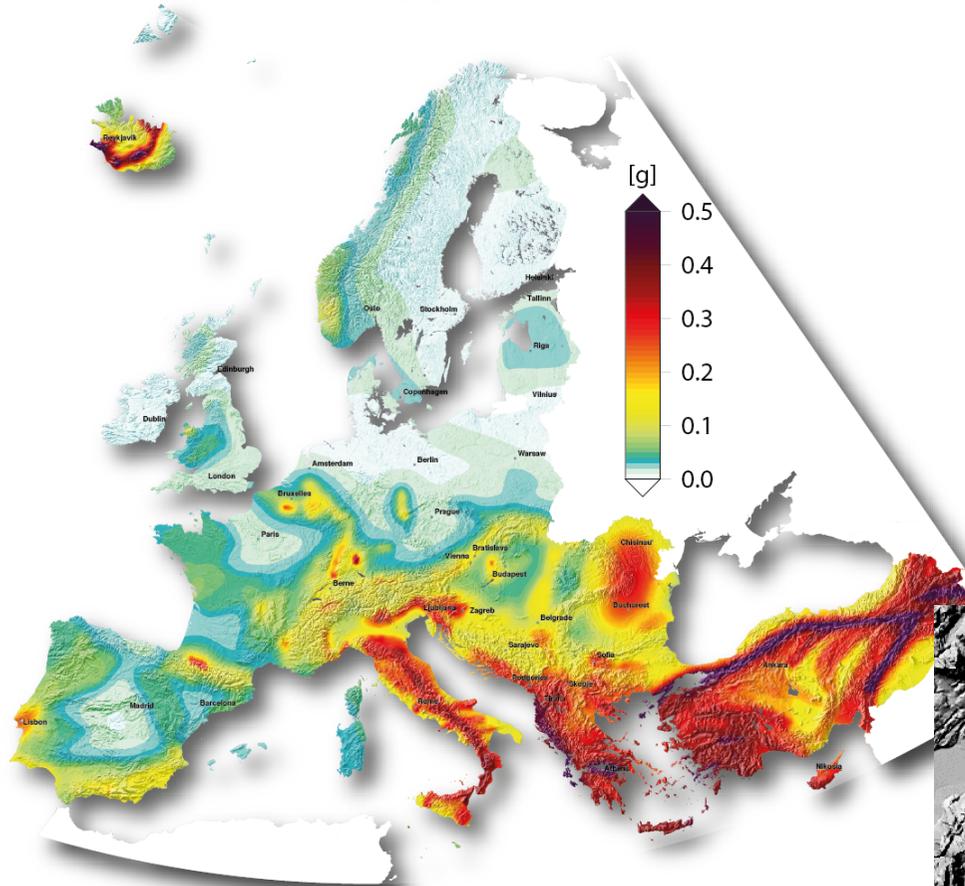
- Pourquoi de la recherche sur cette thématique ?
- Les apports du PARN
- Etat des connaissances sur aléa et risque sismiques à Grenoble

Transfert opérationnel

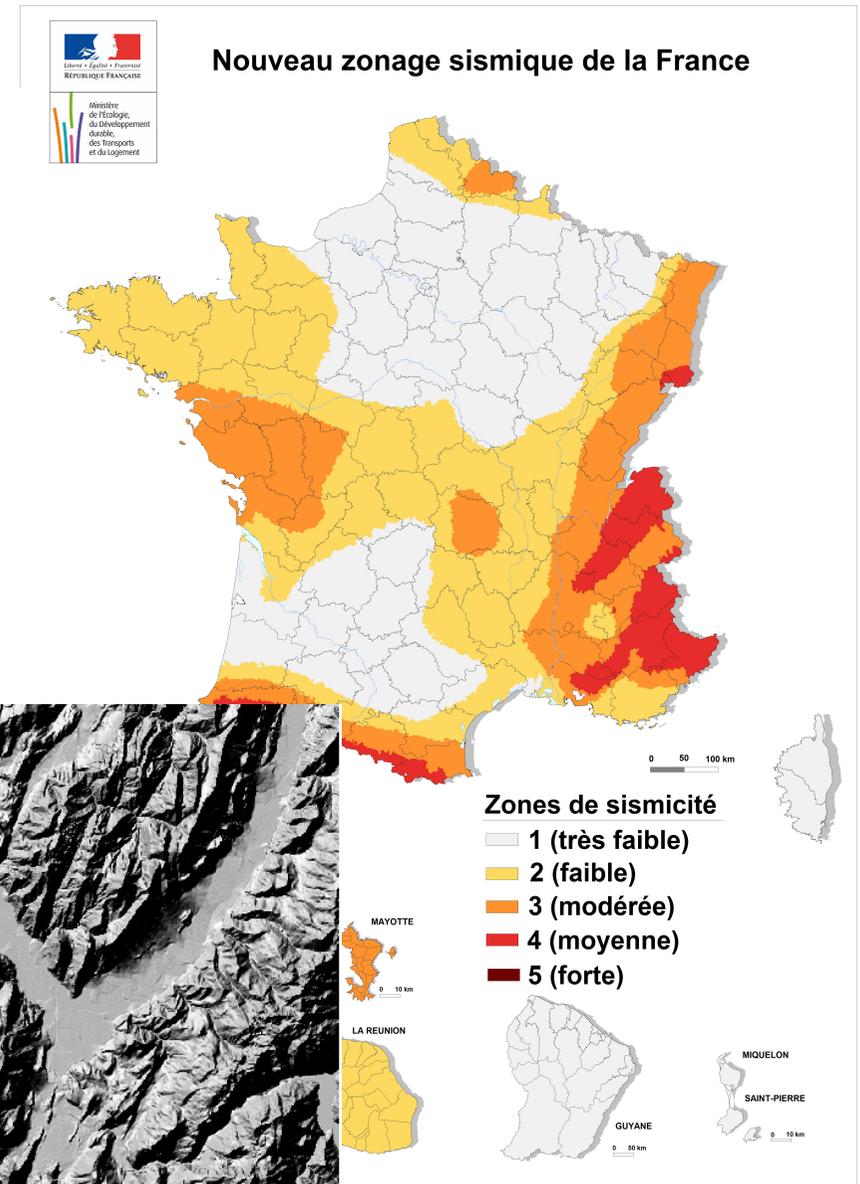
- Oui mais...
- propositions

Niveau relatif France Europe

SHARE 2013 - pga - 10% - 50 ans



Niveau modéré/moyen mais configuration particulière



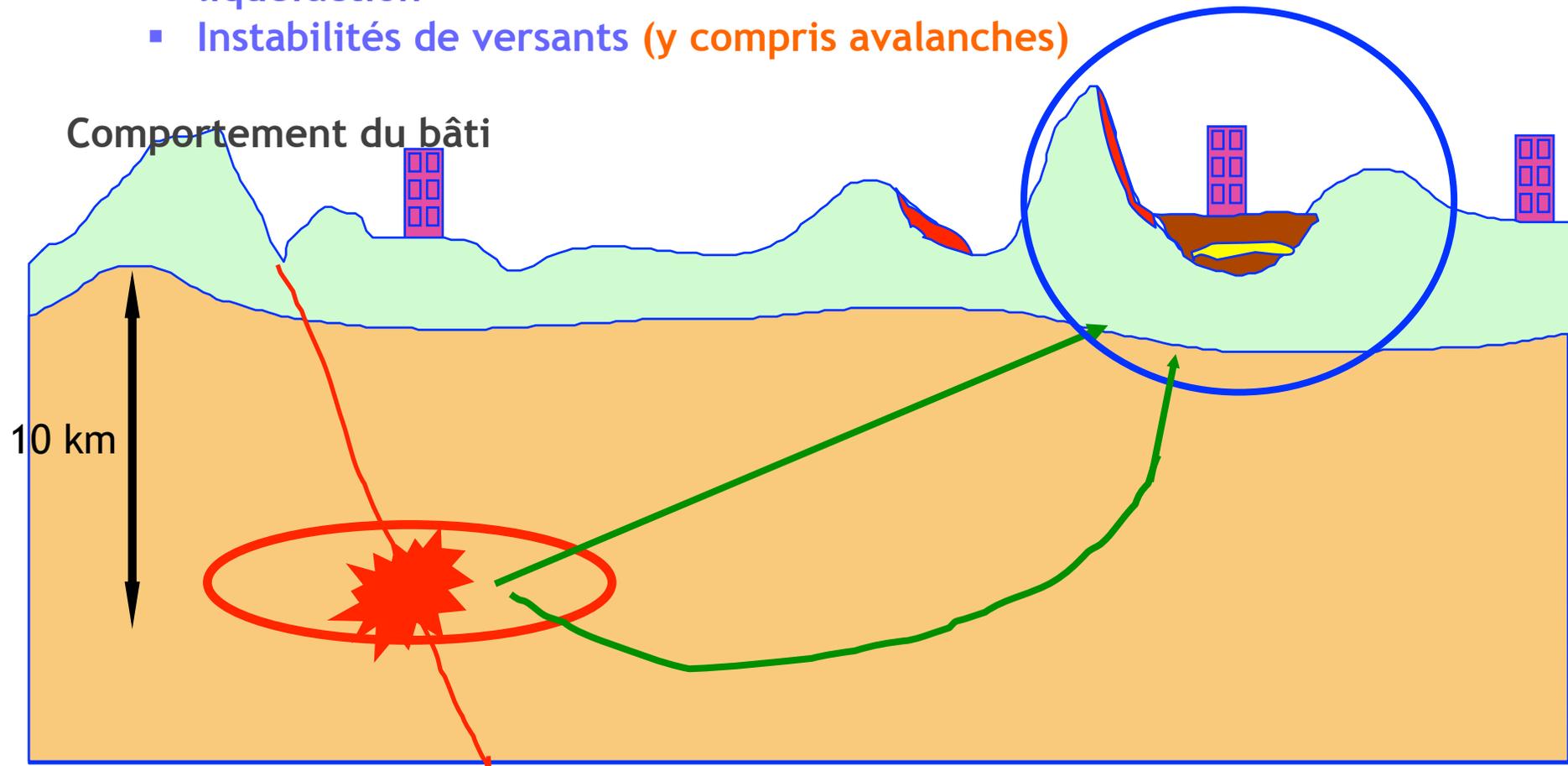
Phénomène Séisme

Mouvements vibratoires / Propagation d'ondes

- Source / faille : taille, mécanisme, cinématique de rupture...
- Effets de propagation: croûte "profonde", effets locaux
 - Topographie, Sols meubles / récents

Rupture localisée du sol

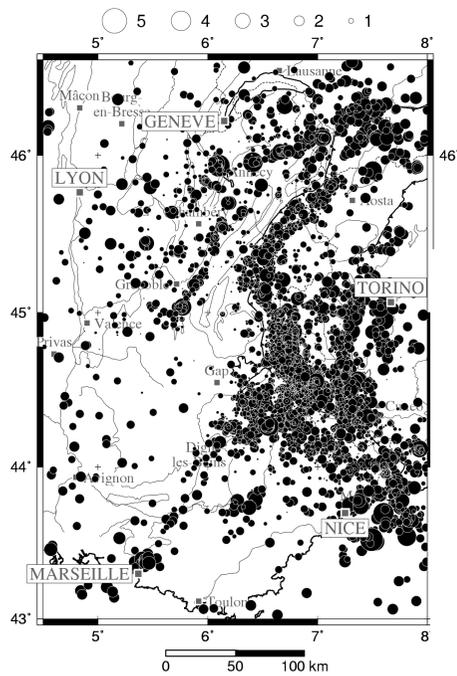
- liquéfaction
- Instabilités de versants (y compris avalanches)



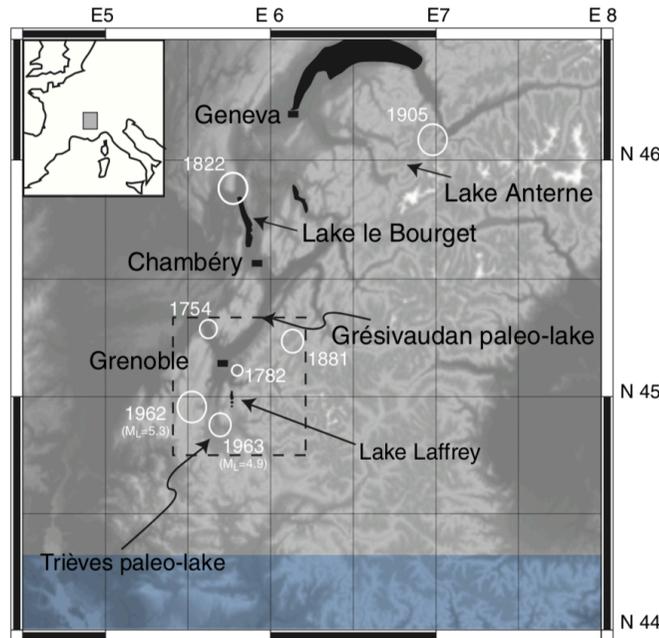
Contributions PARN

Source

- Sismicité actuelle (carte, profondeurs, mécanismes, taux)
- Déformations actuelles (géodésie, géologie)
- Historique (archives lacustres)

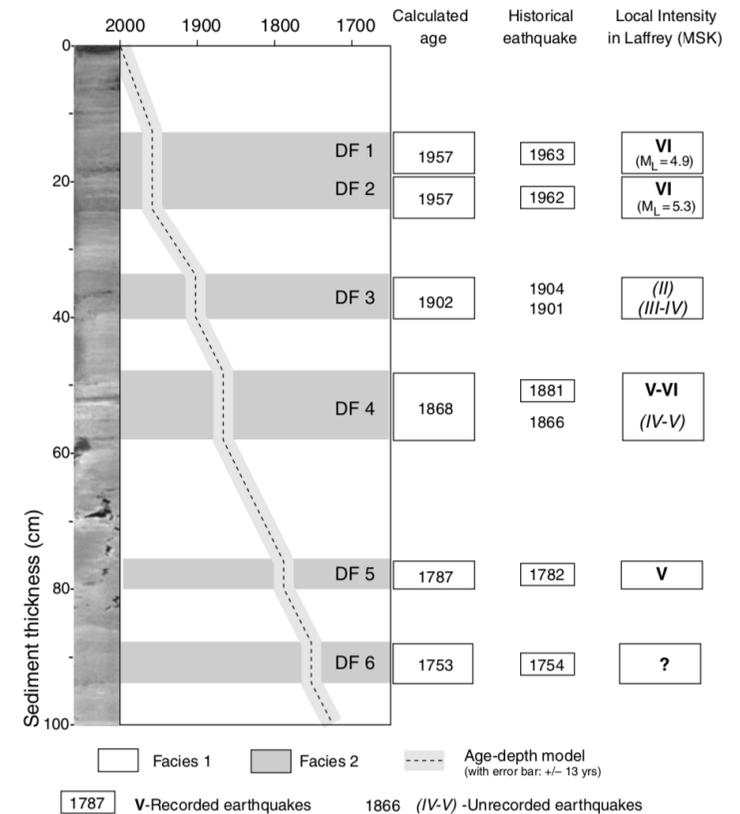


Thouvenot et al.



Historical earthquakes

MSK ○ ○ ○ ○
Scale VI VI-VII VII VII-VIII

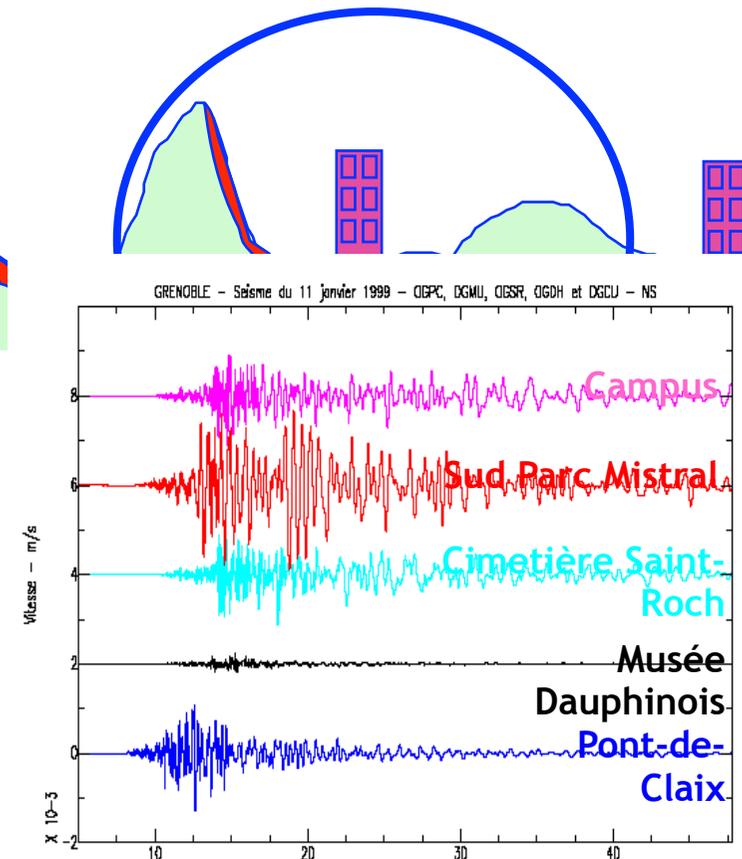
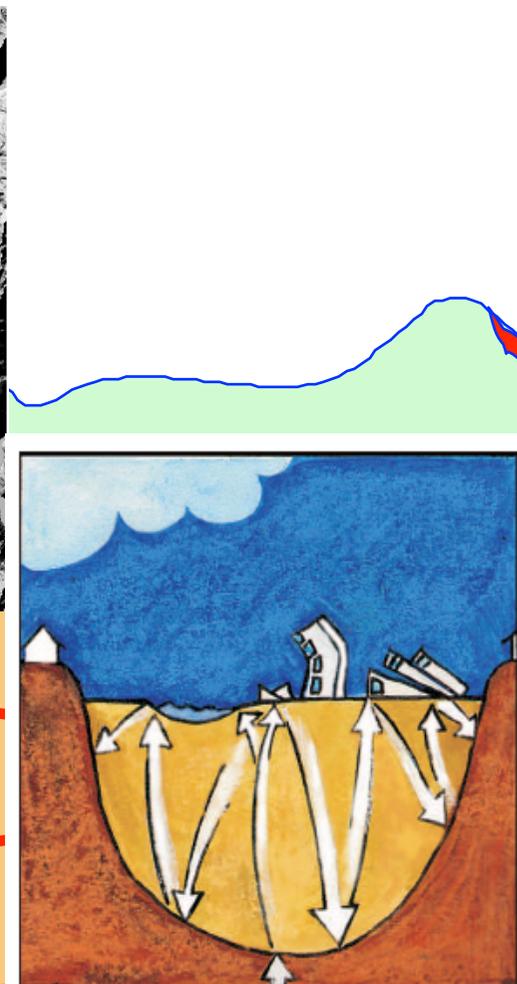
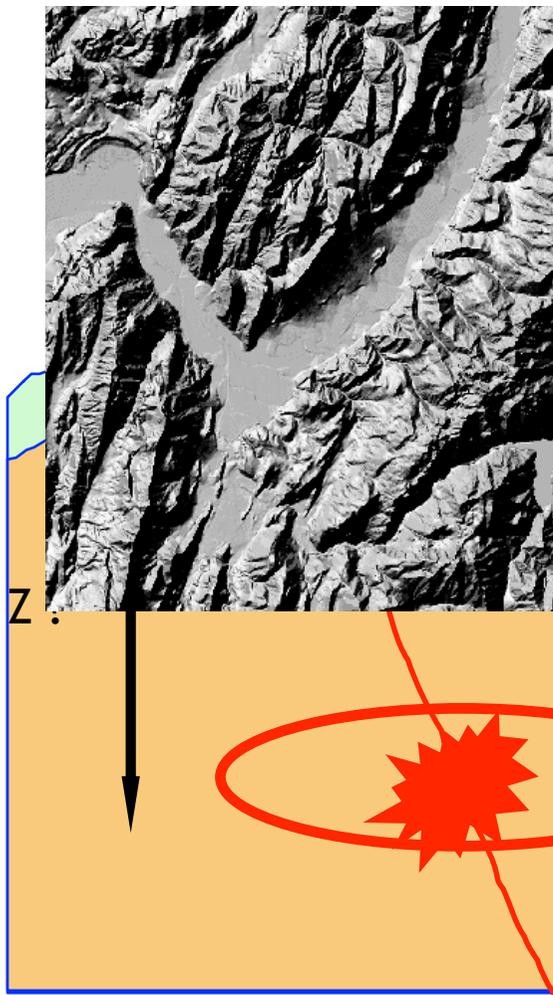


Nomade et al.

Contributions PARN

Effets de site

- Structure du sous-sol proche et profond
- Amplification dans la cuvette: mesures, simulations
- Liquéfaction : développements instrumentaux, mesures



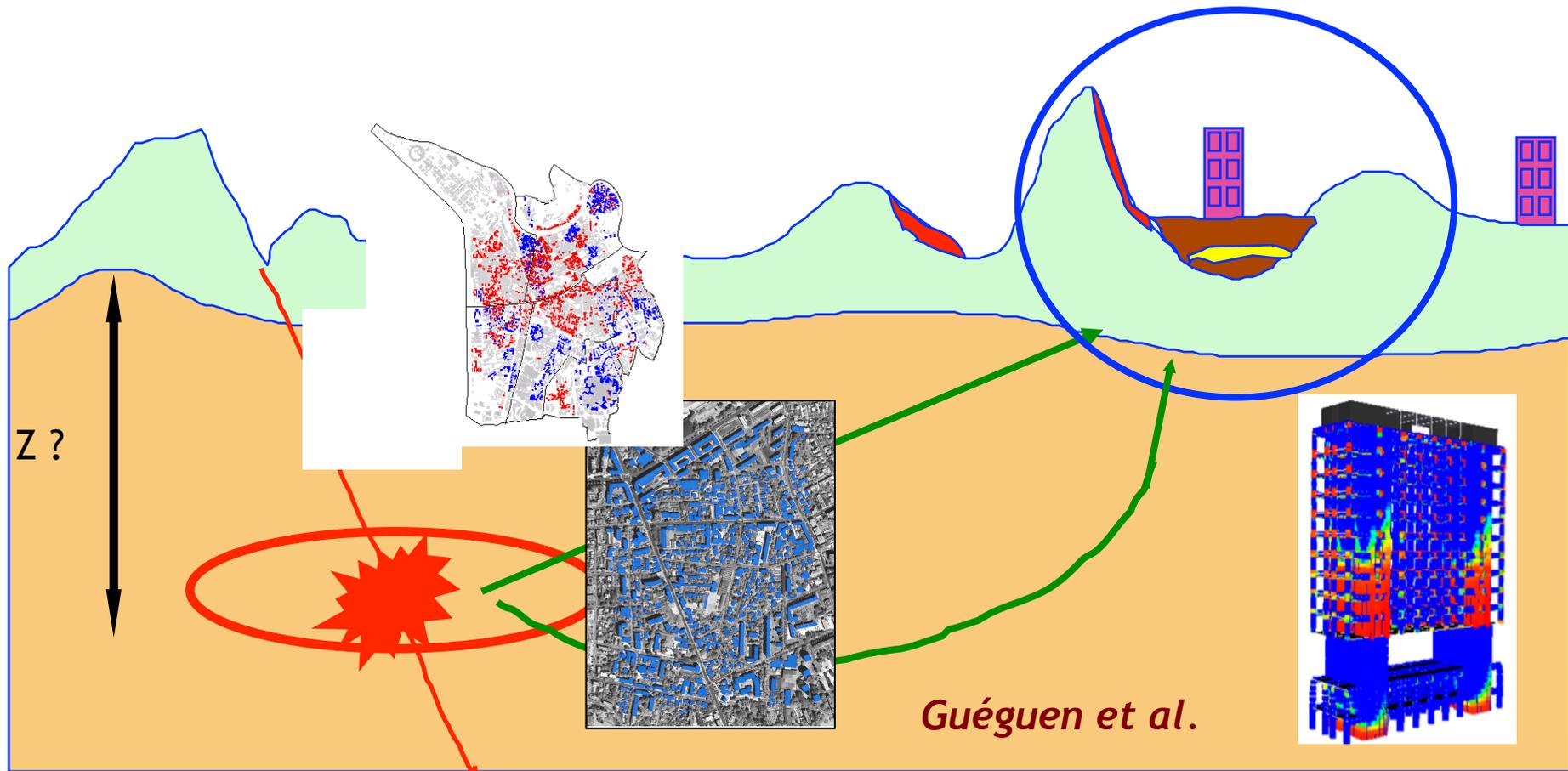
Contributions PARN

Vulnérabilité physique

- Inventaire et typologie bâti existant
- Approches couplées instrumentale / numérique

Risque

- Estimation des dommages et des coûts
- Comparaison autres types de risque



Forte visibilité en recherche grâce au PGRN / PARN

"Incubateur" de méthodes innovantes

- Auscultation sous-sol et structures par vibrations ambiantes, Sismo-piézocône pour liquéfaction, Interaction Site-Ville
- Levier pour monter des projets beaucoup plus conséquents

Site-test pour exercices de benchmarking international

- Simulations numérique source → site
- Méthodes géophysiques d'exploration du sous-sol
- Techniques d'inventaire typologique du bâti

Pôle instrumental fort

- Sismicité alpine : SISMALP
- Du RAP régional au RAP national, du RAP à RESIF, de RESIF à EPOS (Europe)

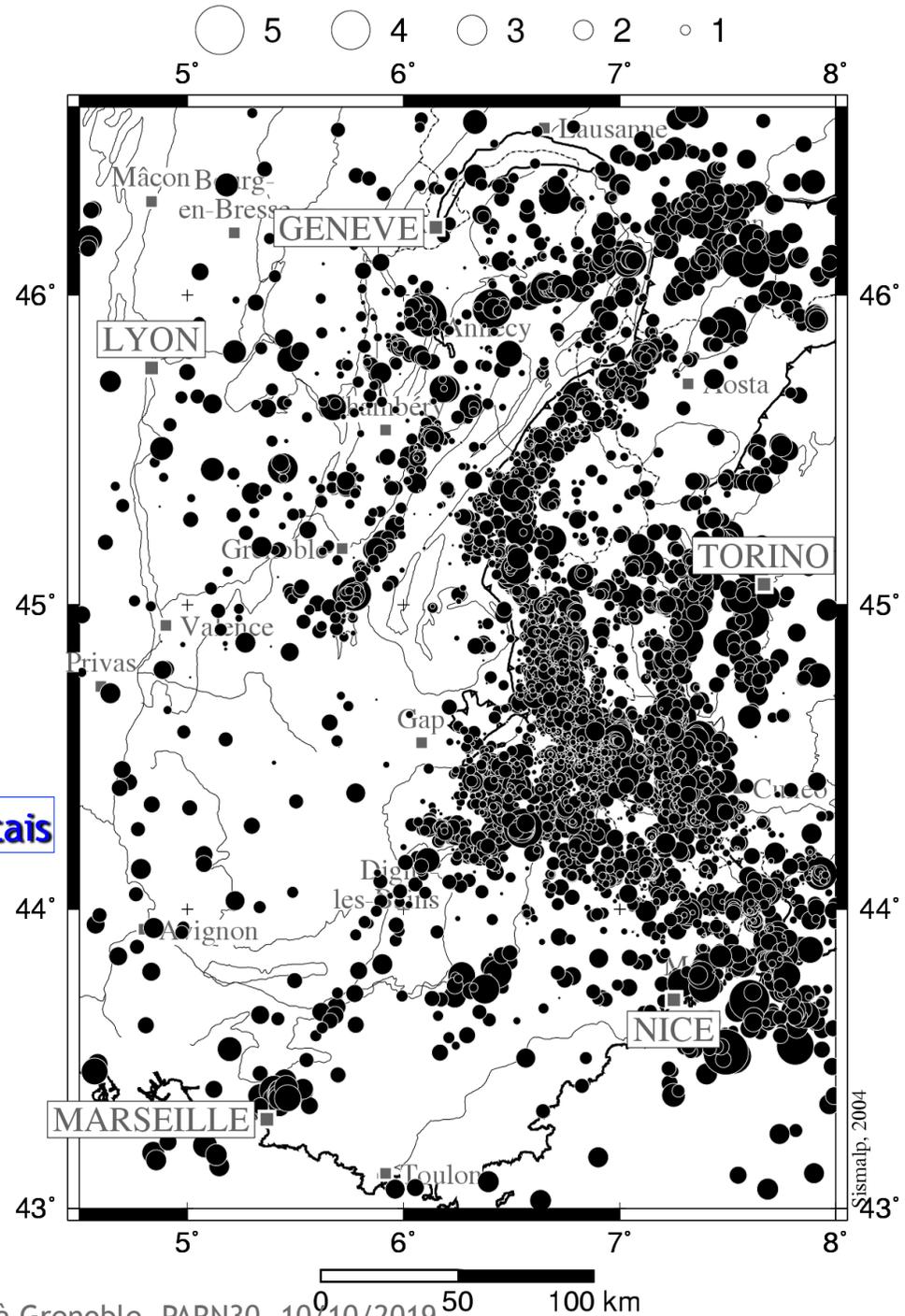
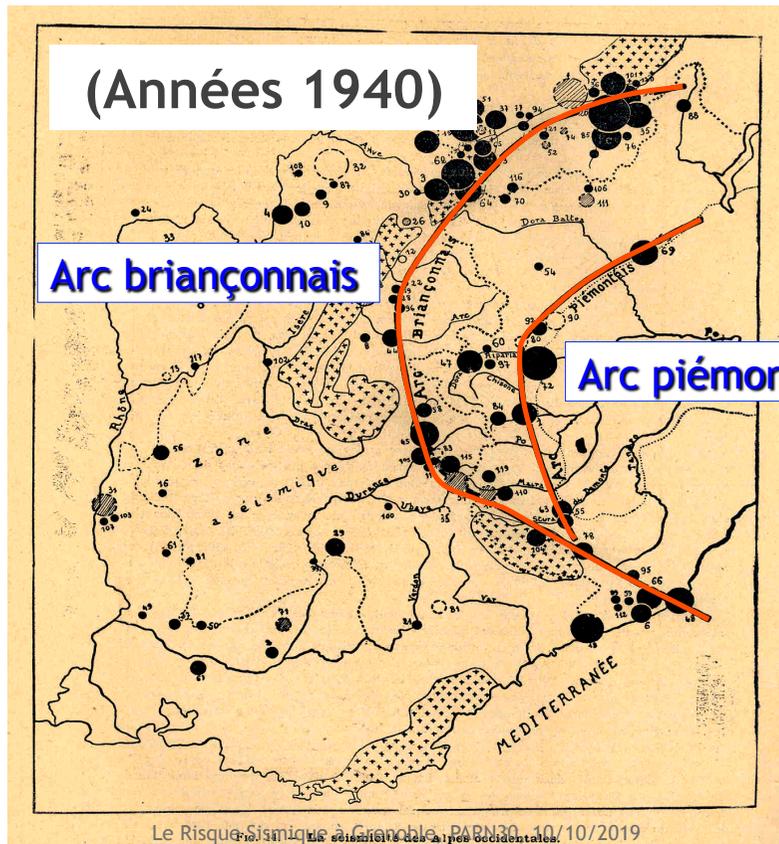
Etat des connaissances (Aperçu...)

Sismicité

Mouvements du sol

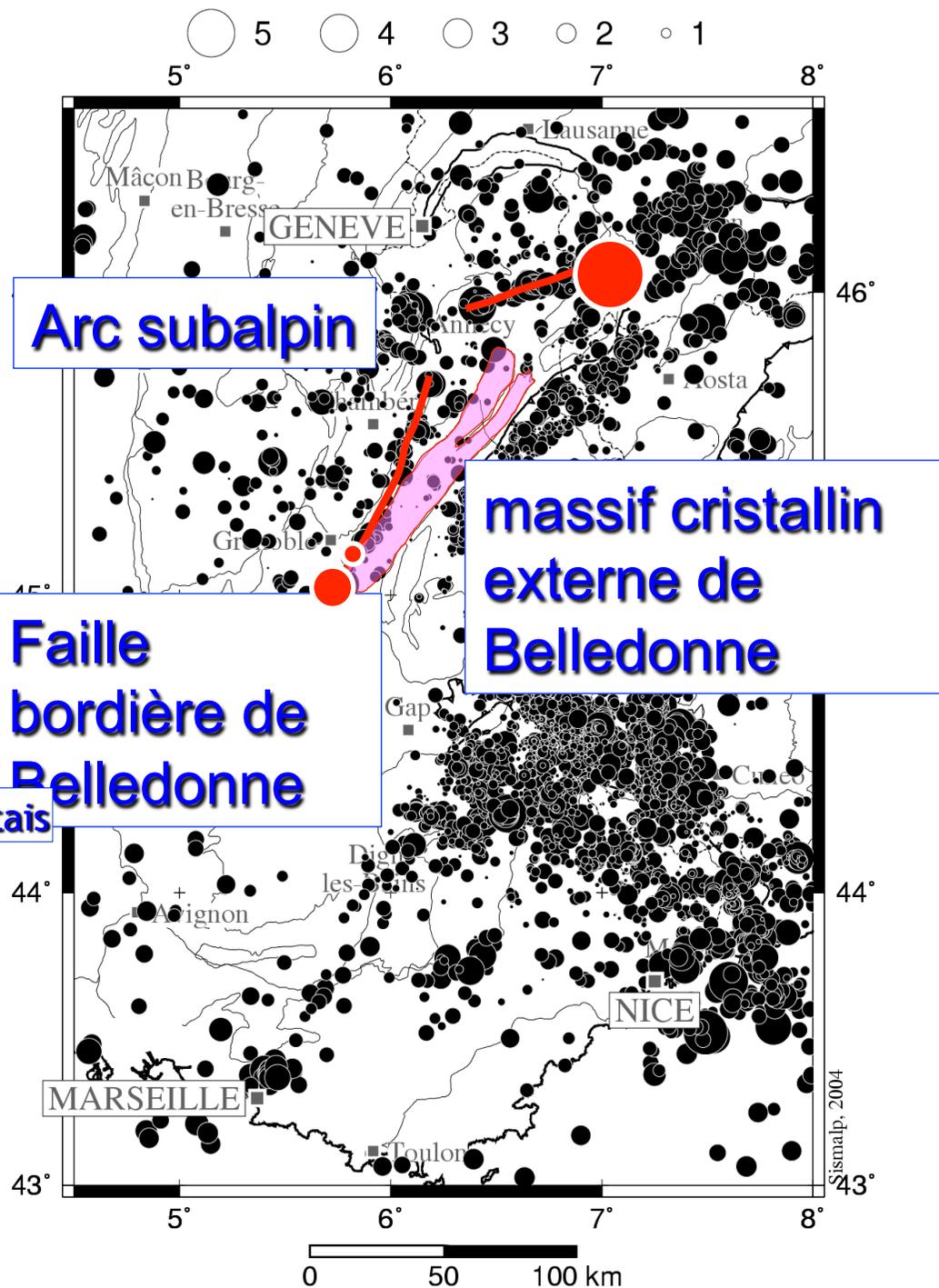
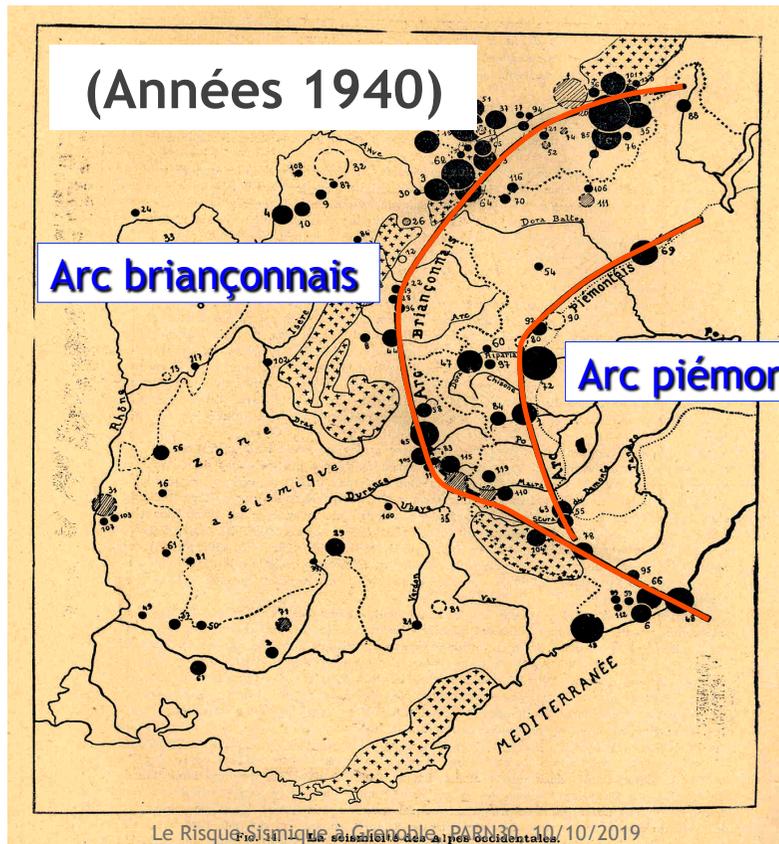
Vulnérabilité / risque

Sismicité instrumentale (SISMALP, 1989 - ...)



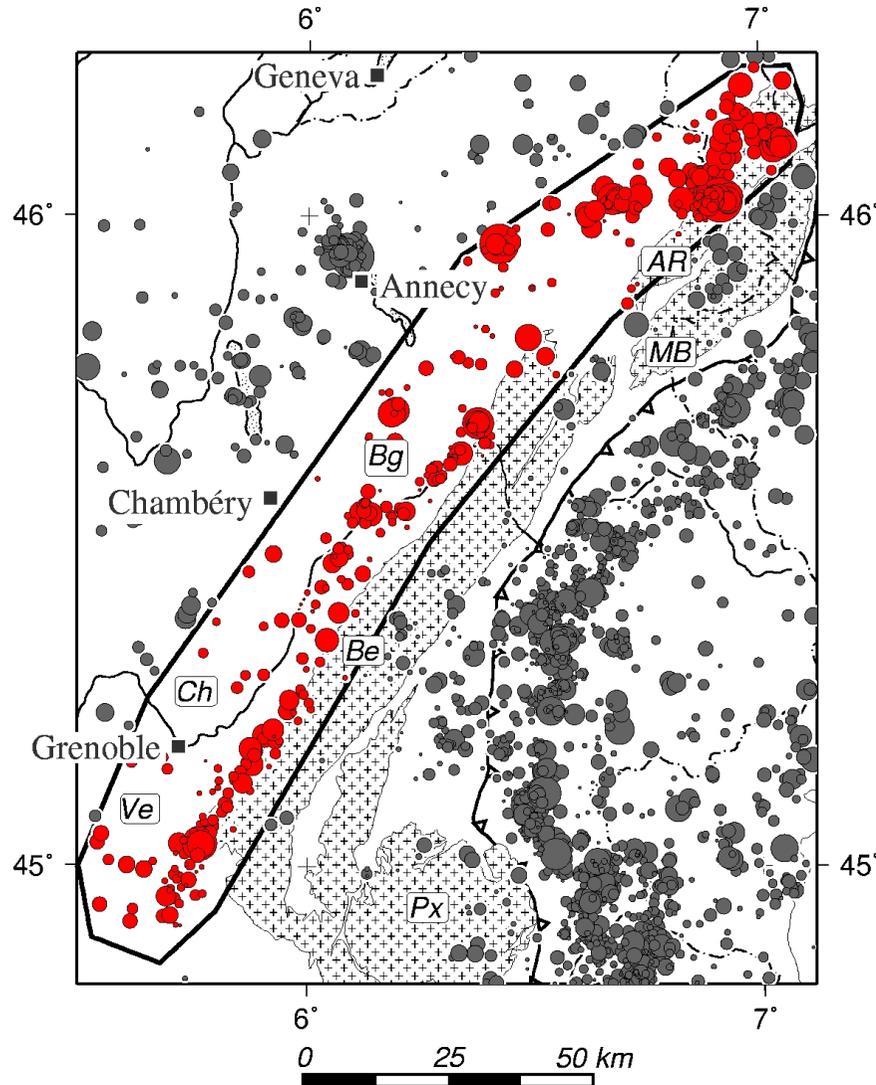
Sismicité instrumentale (SISMALP, 1989 - ...)

Mise en évidence et quantification de l'activité sur une zone bien plus large

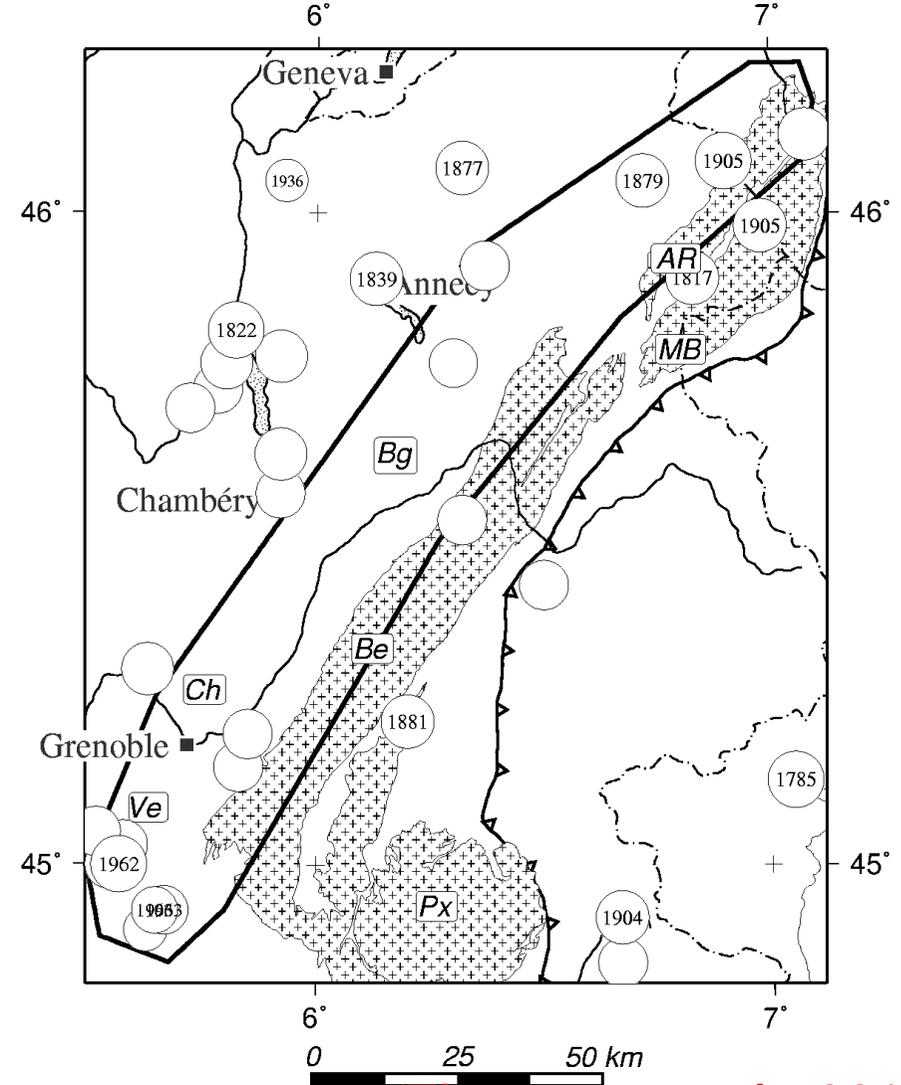


Sismicité alpine

Instrumentale 1989-2007



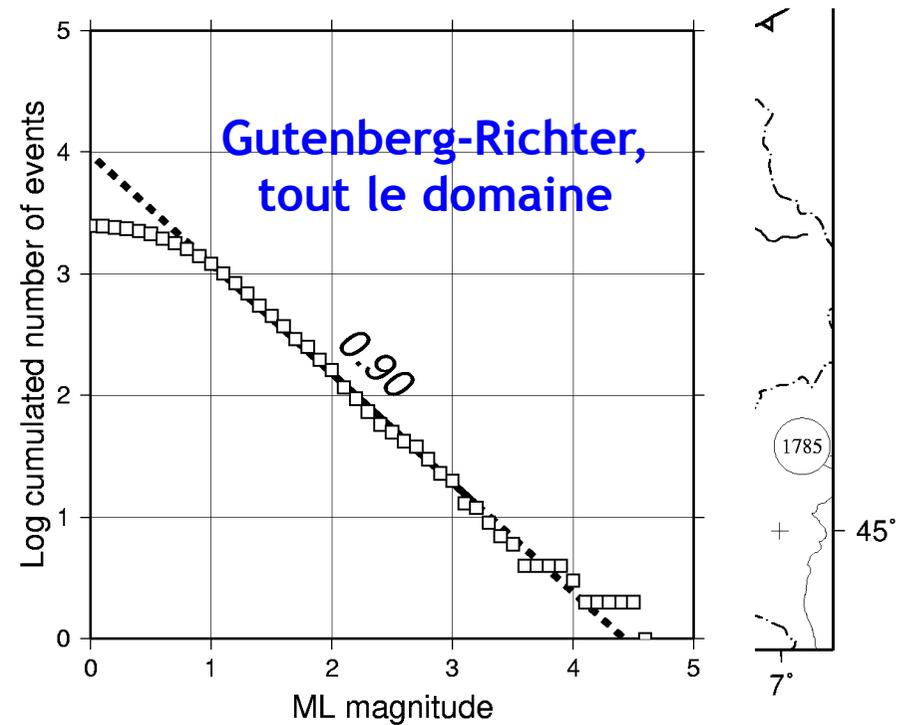
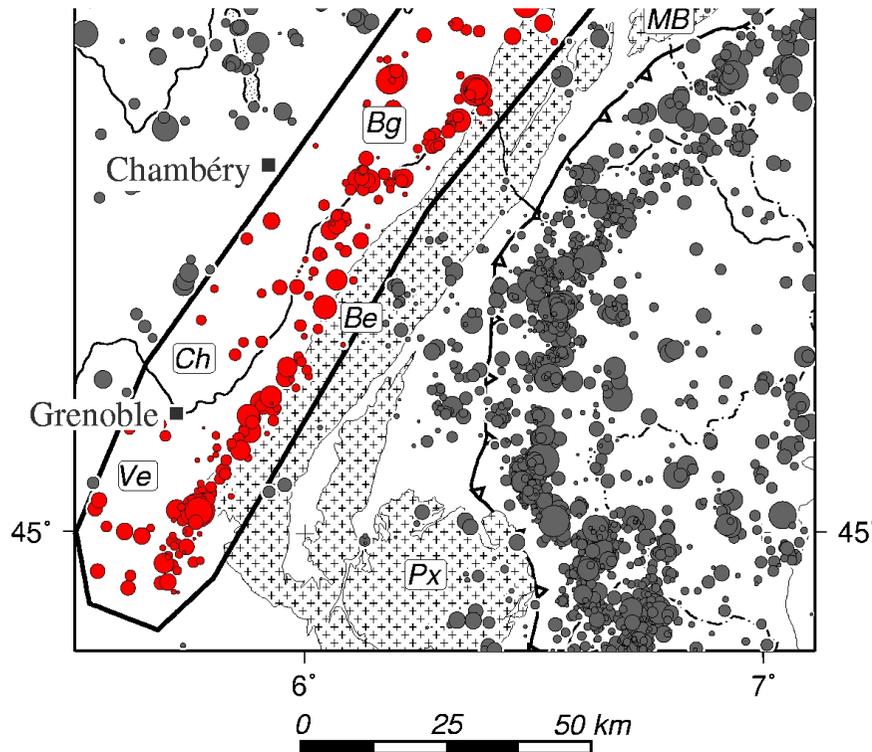
Historique



(Thouvenot et al., 2011)

Période de retour (ans) / magnitude et / zone

	Tout le domaine	Subalpin (Vercors-Aiguilles-rouges)	Subalpin S (Vercors - Bauges)	Subalpin N (Bauges - Aiguilles-Rouges)
b	0.9 ± 0.05	0.78 ± 0.09	0.85 ± 0.15	0.72 ± 0.11
M 4	8	12	40	15
M 5	60	70	300	80
M 6 (?)	500	400	2000	400
M 7 (??)	4000	3000	14000	2000



(Thouvenot et al., 2011)

Mouvements du sol

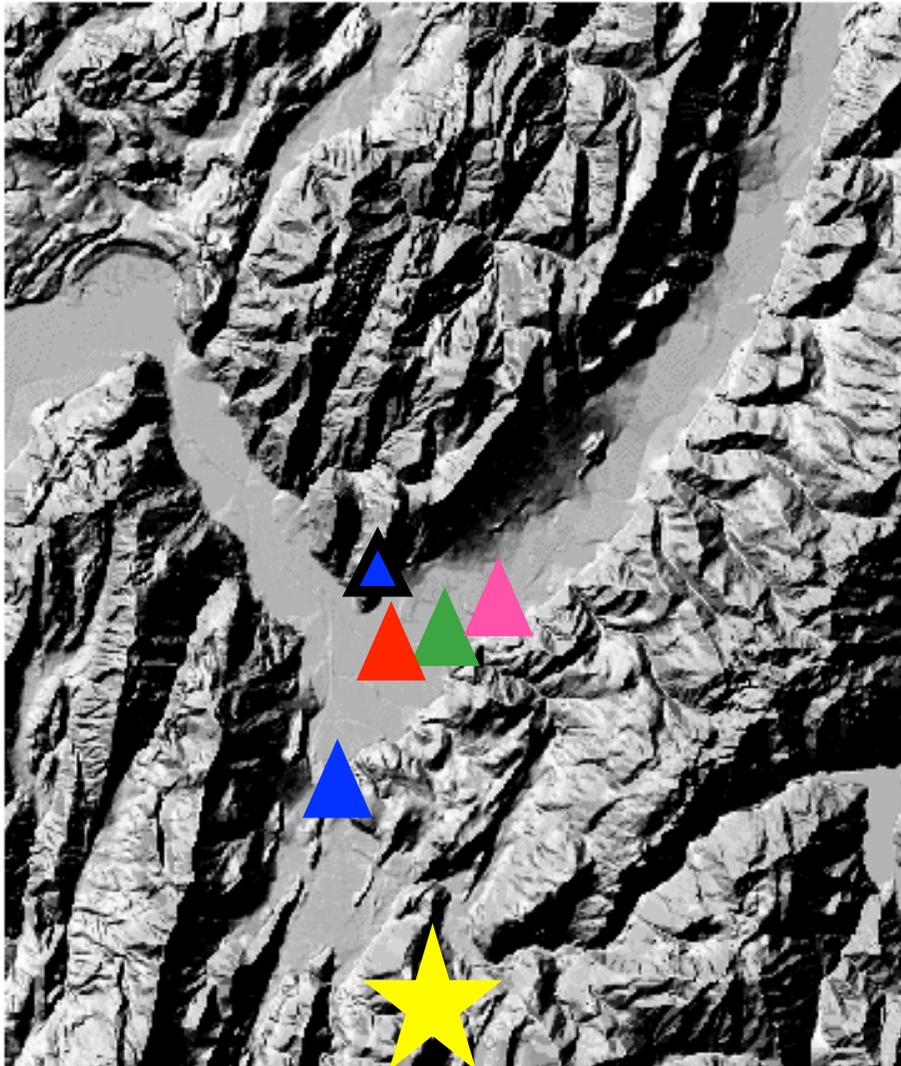
Cas particulier des vallées alpines

Structure du bassin grenoblois

➤ (profonde / superficielle)

Simulation numérique

Grenoble (et autres vallées alpines)

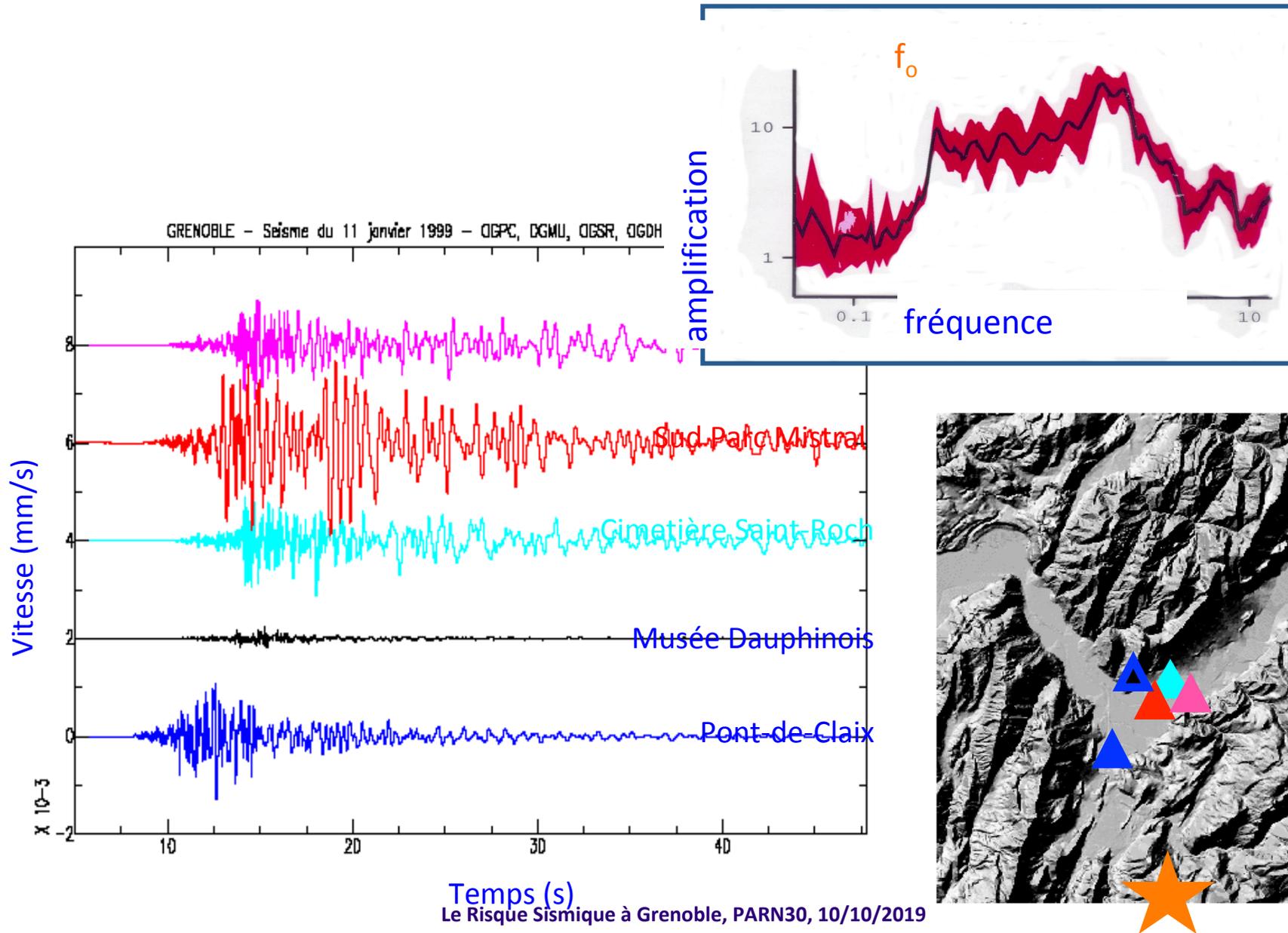


Vallée glaciaire

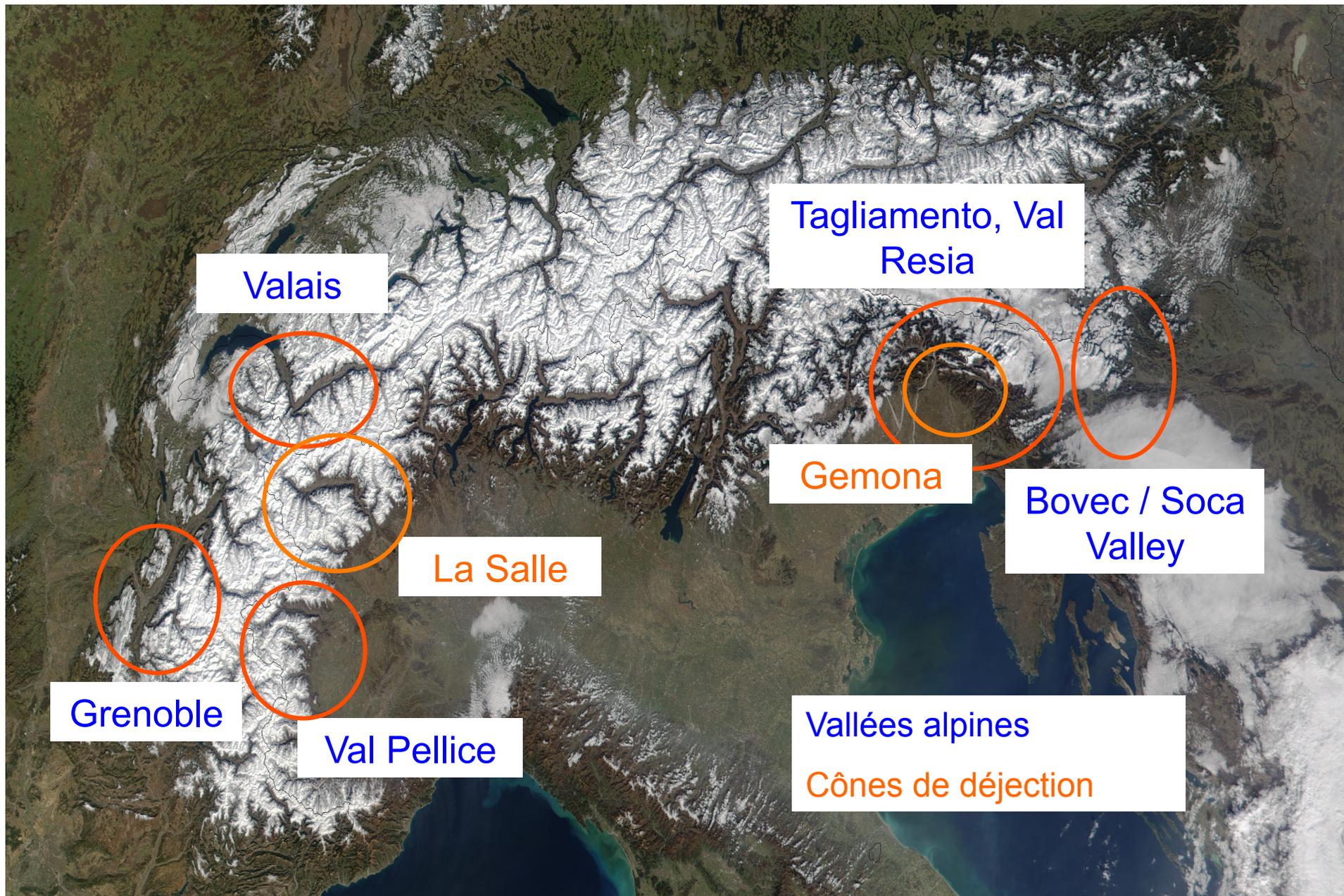
- Dépôts récents (post glaciaire : < 25 000 ans)
- Argiles lacustres
 - Très épaisses
 - Surmontées de dépôts fluviatiles
- Géométrie 2D / 3D encaissée
- Substratum très rigide

➔ Caisse de résonance

Conséquences sur les mouvements sismiques

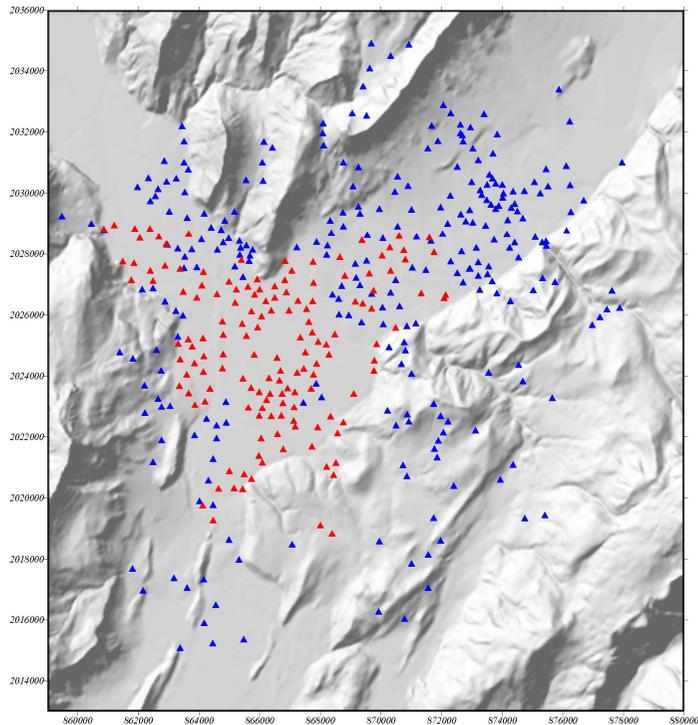


Similarité avec autres vallées alpines (Sismovalp)



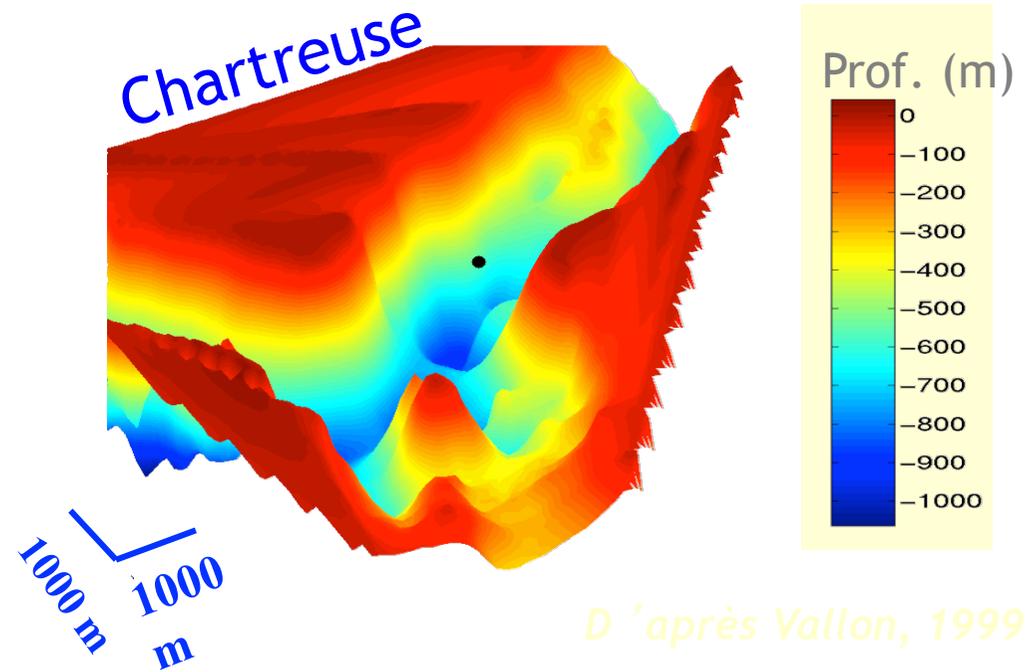
Structure profonde

Prospection profonde



Forage profond Montbonnot

Réseau bruit de fond



D'après Vallon, 1999

(Vallon et al.)

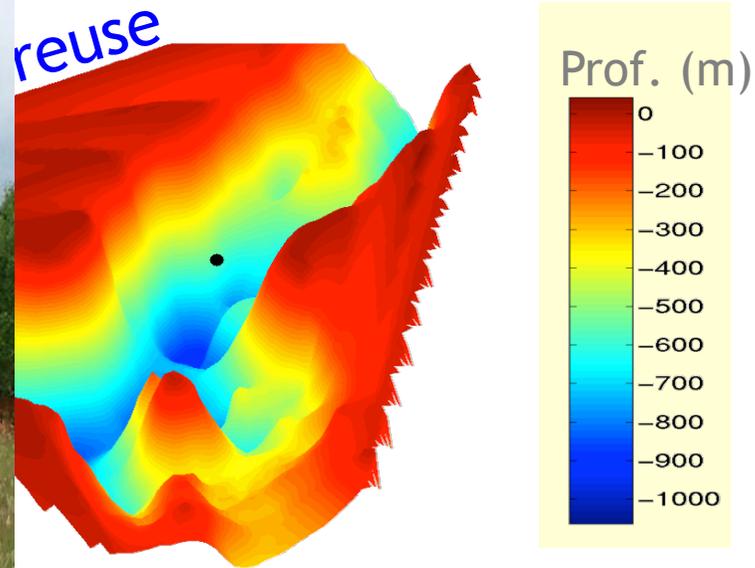
Gravimétrie : du champ de gravité à l'épaisseur des la couverture alluviale

Structure profonde

Prospection profonde

Forage profond Montbonnot

Réseau bruit de fond

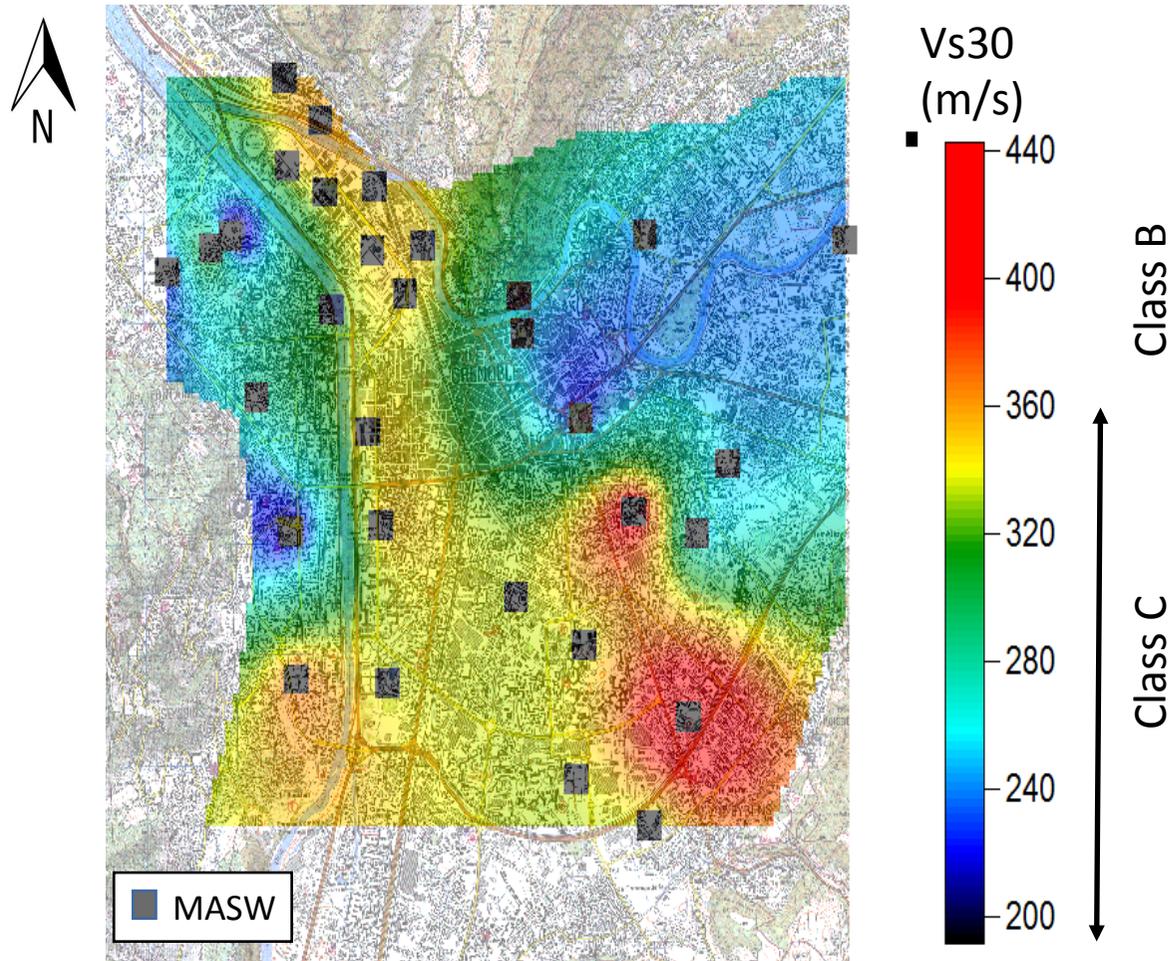


D'après Vallon, 1999

(Dietrich et al.)

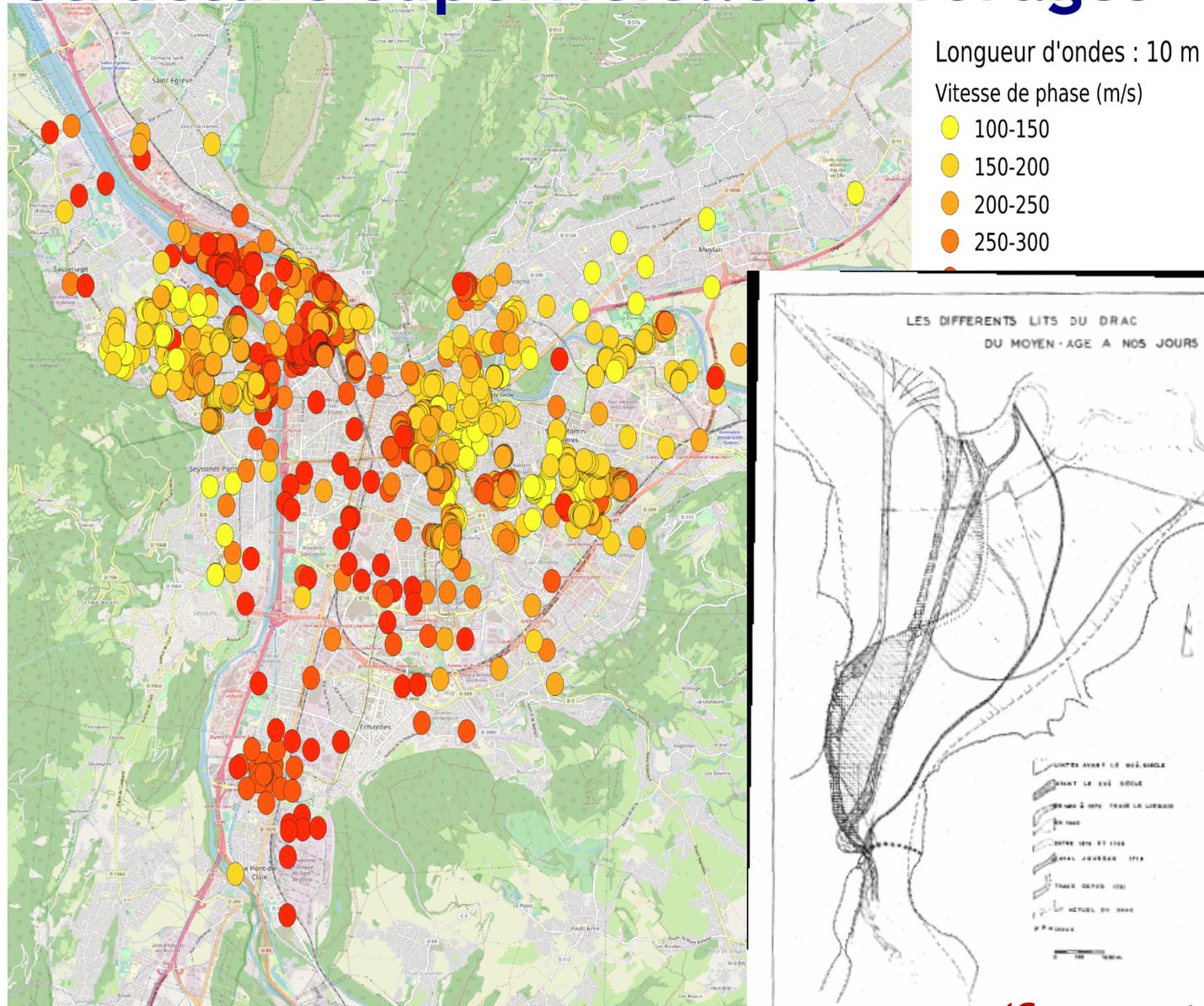
Gravimétrie : du champ de gravité à l'épaisseur des la couverture alluviale

Structure superficielle



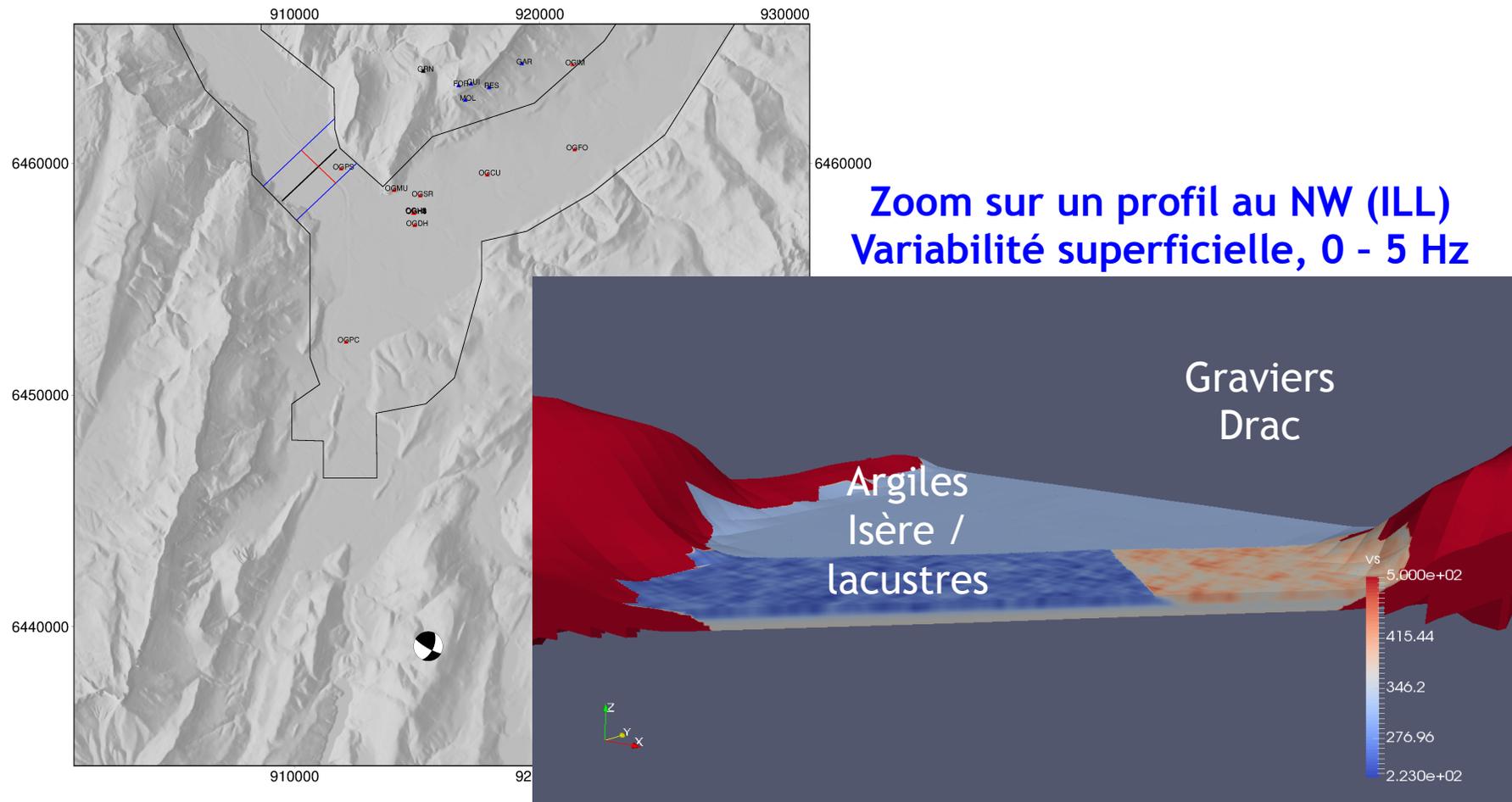
Mesures géophysiques (MASW)

Structure superficielle : + forages



Exemple de simulation : Laffrey 1999

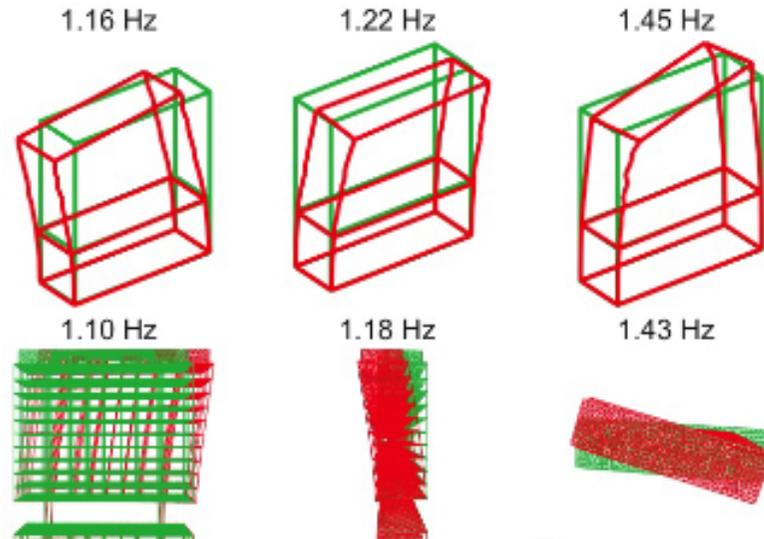
De Martin et al., 2019; projet EXAMIN
Bassin profond homogène - 0 - 5 Hz



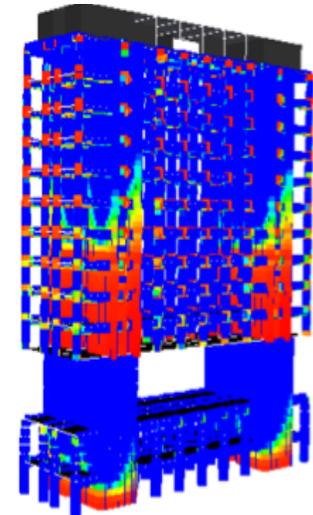
Vulnérabilité : apports de l'instrumentation



*Evaluation modale
du bâtiment*



*Simulation
numérique*



Exemple de l'Hôtel de Ville

Instrumentation temporaire et permanente

Modes de vibrations

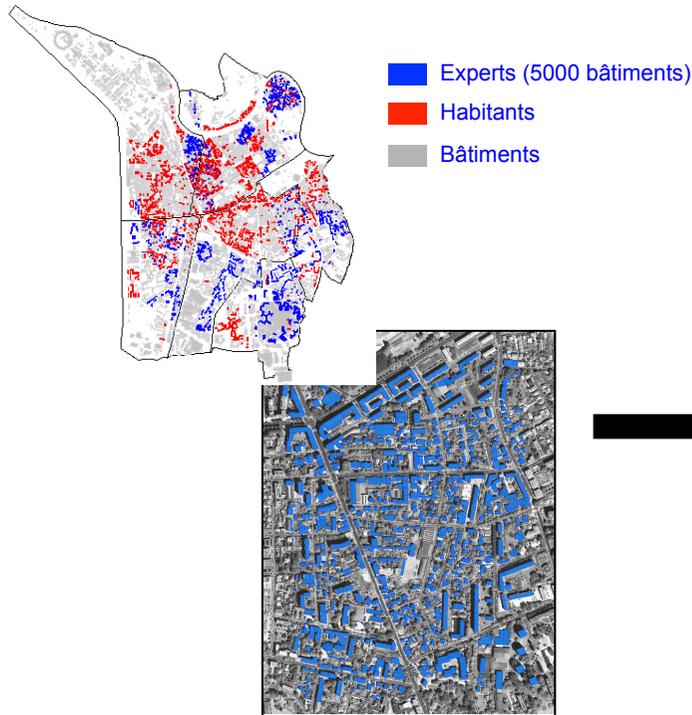
Monitoring des fréquences

Calage des modèles numériques

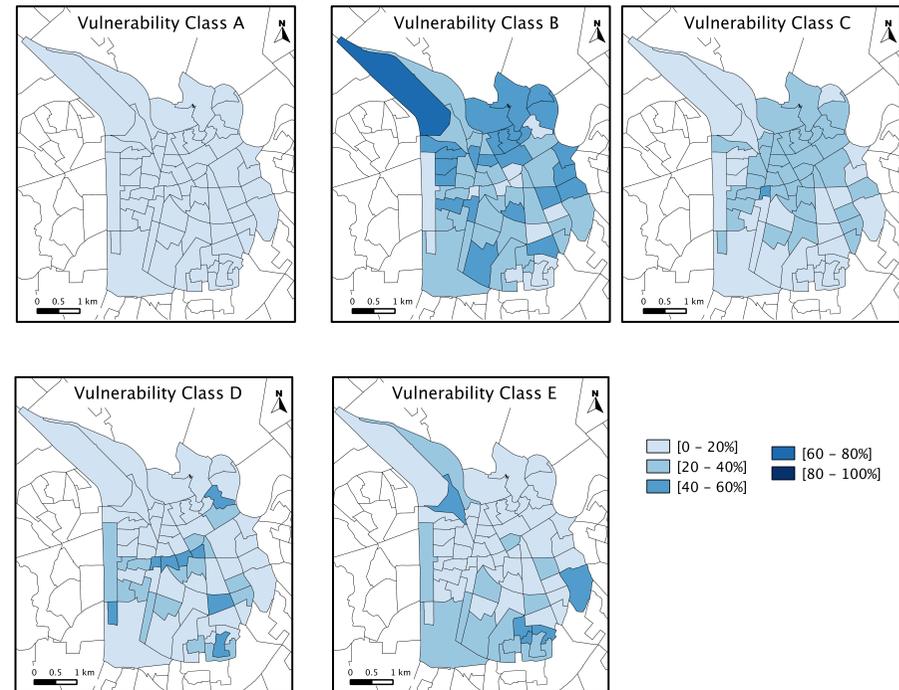
Extrapolation séisme "réglementaire" (EC8)

Guéguen et al., 2017, Michel et al., 2010.

Inventaire typologique



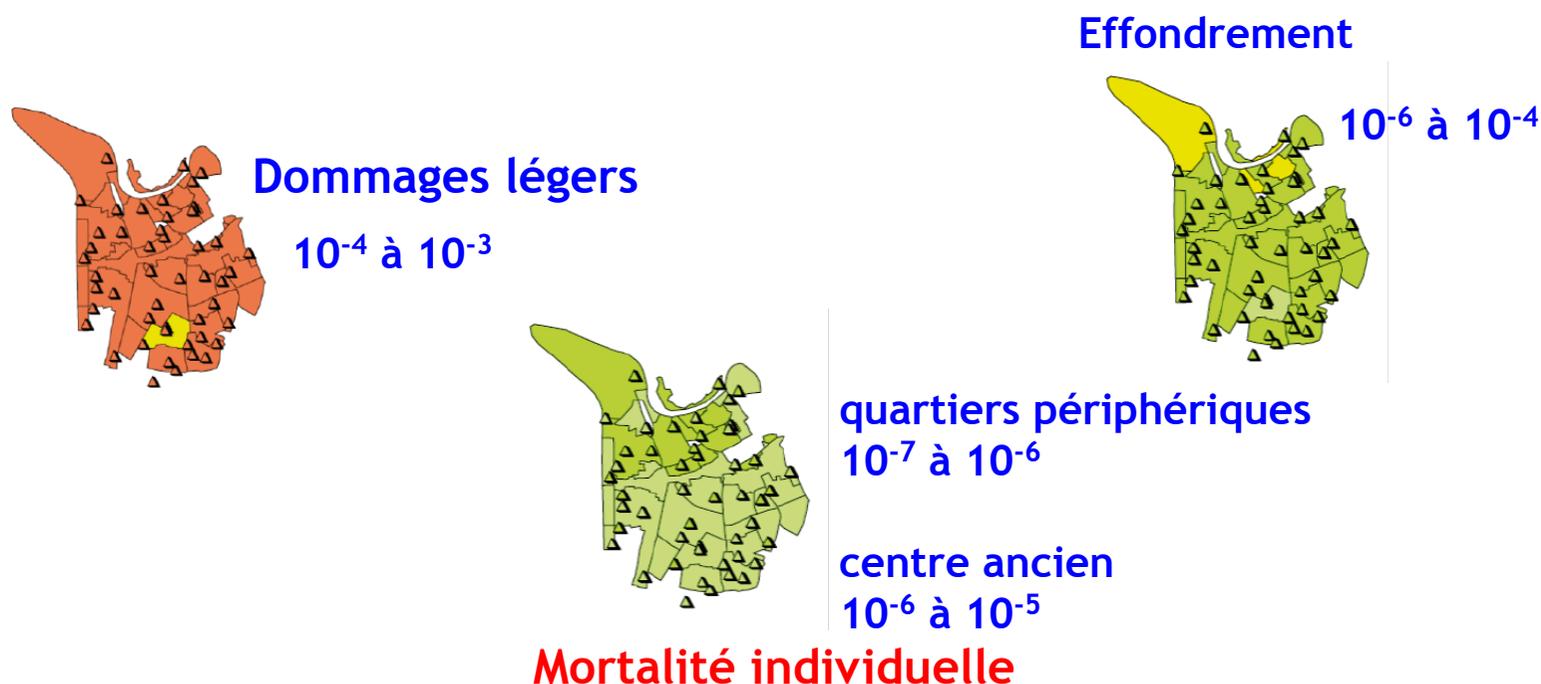
Vulnérabilité sismique Répartition des classes de vulnérabilité par secteur (iso-IRIS INSEE)



Enquêtes de terrain (experts) et auprès de la population
couplage à des méthodes d'intelligence artificielle (Support Vector machine)

Risque sismique

Estimation des probabilités annuelles de dommages et de victimes



Comparaison à quelques risques "courants"
(mortalité annuelle route : $7 \cdot 10^{-5}$)

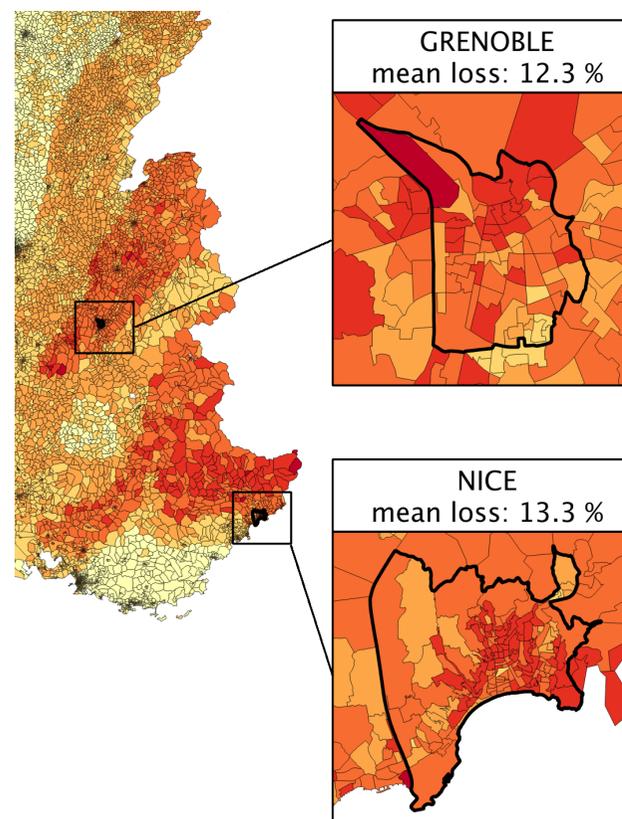
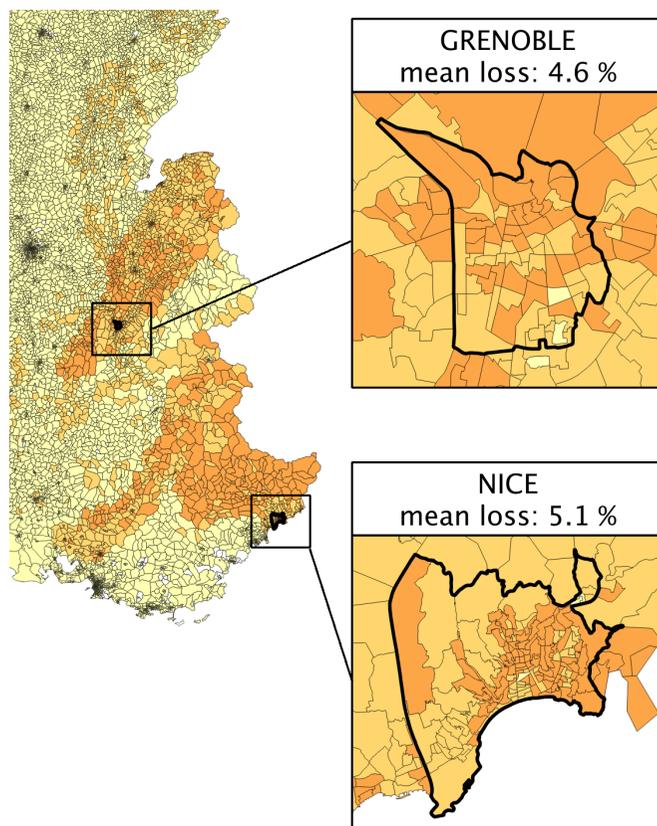
Dunand et Guéguen 2012

Risque sismique

Niveau de pertes directes probable

➤ Grenoble vs Nice en % de valeur

Riedel et Guéguen 2018



T = 95 ans
(probabilité 10% sur 10 ans)

T = 475 ans
(probabilité 10% sur 50 ans)

Et maintenant ?

Conclusions sur RS à Grenoble

- Un risque modéré mais significatif au niveau français
- Travaux de recherche
 - Contribution à visibilité du site grenoblois en recherche
 - Des sujets à approfondir

Transfert vers l'opérationnel ?

Développements méthodologiques :

Beaucoup, mais ailleurs...

Sur Grenoble et la région

A faire !

Comment ? Quels outils ?

Prévention parasismique : Risque normal

Réglementation parasismique

Retour d'expérience : c'est efficace !

Possibilité de modulation locale si vrai PPRS (niveau 2-3)

Mais s'applique seulement au neuf

Rien avant 1972

De 1972 à 1993, seulement IGH et ERP

Depuis 1994, toutes les constructions neuves

? Application réelle ?

? pertinence des règles actuelles (EC8 depuis 2011) pour le site grenoblois ?

Taux de renouvellement du parc immobilier : ~ 1% / an

Immeubles et ouvrages existants

Aucune exigence hormis, éventuellement, PPRS

(Montant des travaux limité à 10% valeur du bien)

Coût du renforcement >> surcoût parasismique neuf

Cas particulier ERP, Enseignement, classe D

Risque spécial (Nucléaire, ICPE, Barrages)

Présence forte sur territoire

- (ILL, ICPE seuils haut et bas, ouvrages Drac/Romanche, digues de protection ...)

Réglementation en forte évolution

- Nucléaire : post Fukushima
 - ILL = très bon élève !
- ICPE : arrêté 02/18, Barrages : arrêté 08/18
 - Etudes obligatoires (Z4)
 - Aléa forfaitaire ou études spécifiques autorisant une certaine baisse des actions de dimensionnement, si justifié

Possibilités d'actions à co-construire

1. Etudes de scénario

- M5.5 (ou autre : 6?) sur Belledonne (ou Voreppe)
- Outil très utile pour favoriser la prise de conscience
- Mouvements estimés / simulés sur toute la métro (et au-delà?)
- Dommages (avec fourchettes incertitudes)
- Focus sur ouvrages importants
 - RN classe C, D
 - INB-ICPE / barrages / digues
- Aspects SHS !
- ? Coïncidences séisme / crue ?

Possibilités d'actions à co-construire

2. PPRS ou étude d'aléa "locale" (Métro ++?)

- Niveau de risque comparable à Nice
- Aucune INconstructibilité
- Possibilité de réduire et/ou d'ajuster les niveaux
 - Rocher encaissant (C-V-B) assez raide
 - Niveaux forfaitaires élevés
(20 ans, étude précipitée, progrès des connaissances, ...)
 - Effet cuvette + fort que prise en compte réglementaire
- Possibilité de mutualiser RN / RS
- ? Optimum économique de renforcement
 - (approche pragmatique "à la suisse")
 - Cheminées
 - Couplage réhabilitations énergétique et sismique ?

Défi

Faire de Grenoble un site-test / pilote aussi pour le transfert opérationnel

(Similarité avec beaucoup de villes en zone montagneuse : Alpes européennes et bien au-delà, cf projet RISK@UGA)

Remerciements / Contributions

J. Banton, B. Bettig, C. Bordes, L. Bourjot, M. Campillo, V. Caillot, S. Cartier, M. Causse, E. Chaljub, E. Chapron, M. Collombet, A. Colombi, J. Converset, C. Cornou, F. Cotton, P.A. Davoine, M. Dietrich, I. Douste-Bacqué, F. Dunand, A.-M. Duval, E. El Haber, E. Flavigny, P. Foray, J. Fréchet, J.F. Gamond, S. Garambois, J.R. Grasso, J.P. Gratier, P. Guéguen, R. Guiguet, S. Hatton, D. Hatzfeld, H. Havenith, M. Hobiger, F. Hollender, L. Jenatton, J. Jerram, E. Koufoudi, J. Kristek, S. Labanieh, C. Lacave, C. Lutoff, M. Langlais, B. Lebrun, F. Lemeille, G. Ménard, O. Méric, C. Michel, S. Michel, P. Moczo, G. Nicoud, E. Pathier, I. Riedl, S. Roussel, S. Stripajova, S. Tadenuma, F. Thouvenot, S. Tsuno, M. Vallon , C. Voisin ...