

**08 Mars 2022**

**Etienne BERTRAND**

# **Plan de prévention du Risque Sismique à Nice (06).**



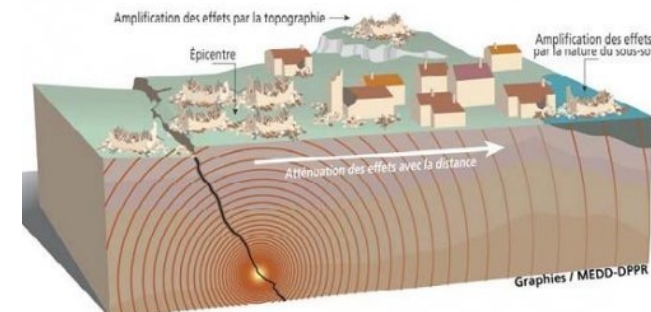
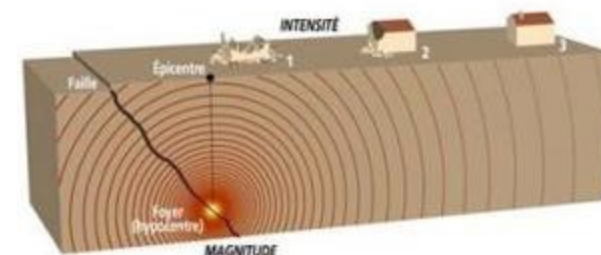
## **1- Aléa sismique**

# Qu'est ce que l'aléa sismique ?

## L'aléa sismique comporte deux termes :

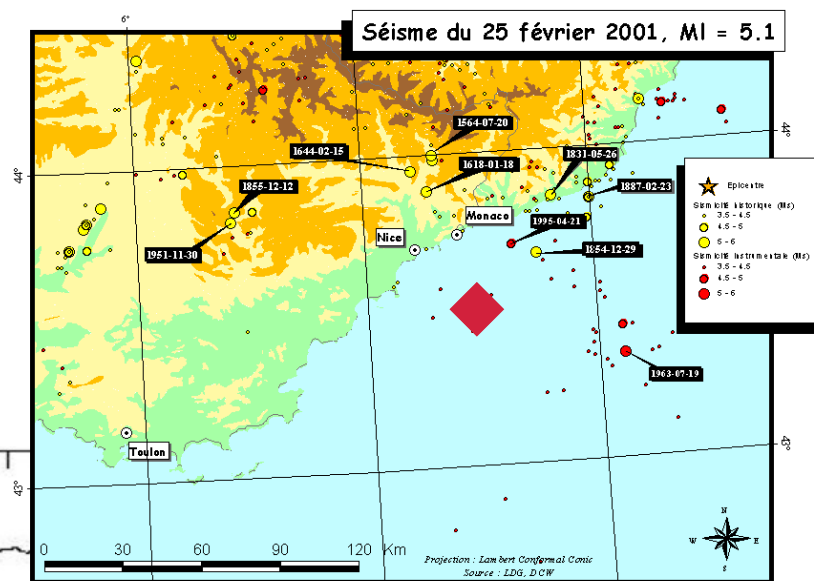
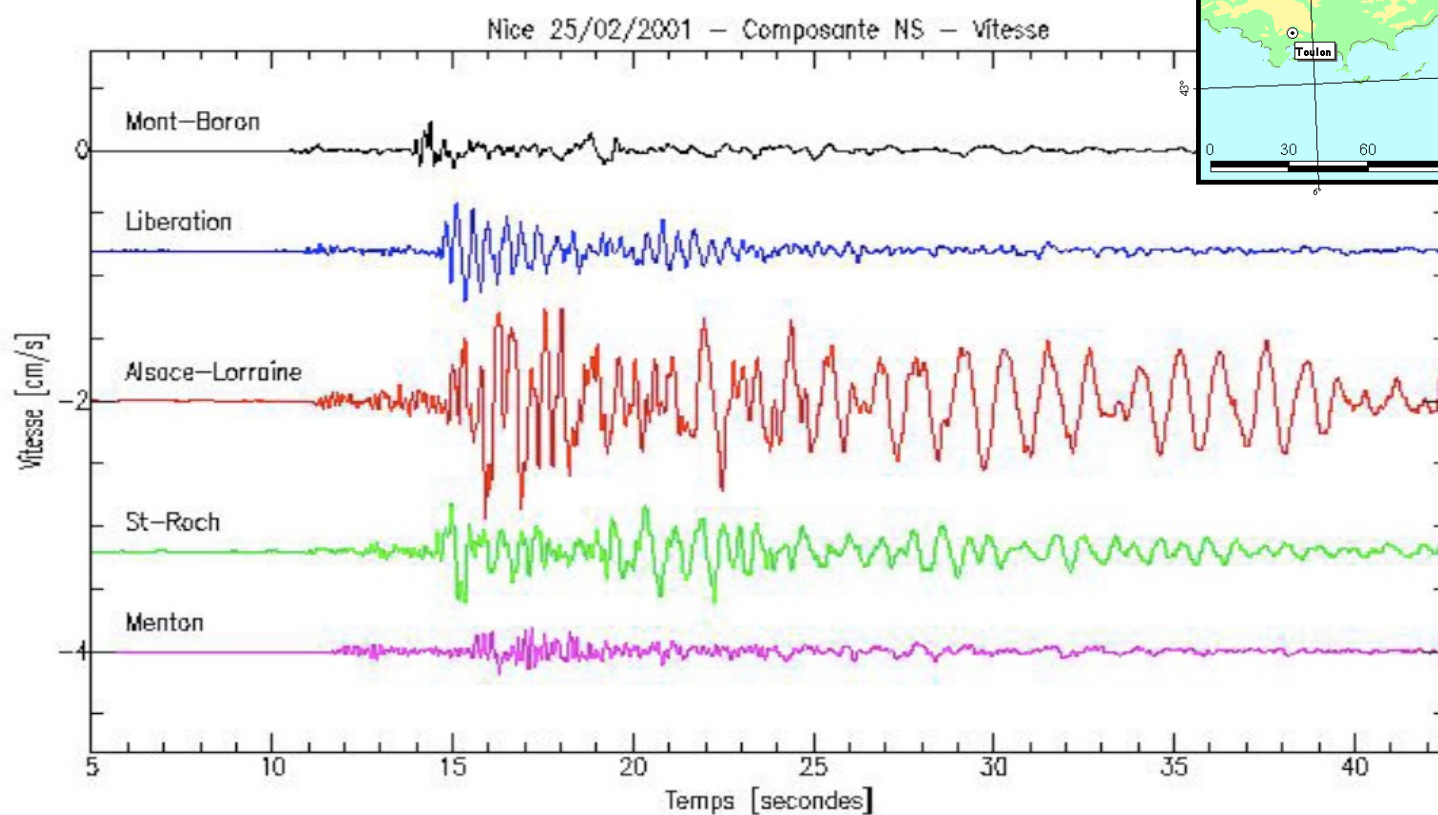
**aléa régional** : correspond au mouvement sismique déterminé au **rocher horizontal affleurant de référence**. Il dépend essentiellement de la source sismique (magnitude, géométrie de la faille, caractéristiques de la rupture) et de la distance à l'épicentre.

**aléa local** : les conditions géologiques (sols non rocheux) et topographiques (surface non plane) modifient la vibration en surface. On parle **d'effets de site lithologiques et topographiques**. Ces effets de site amplifient le mouvement sismique à certaines fréquences qui dépendent de la géométrie et des qualités géotechniques des couches géologiques de sub-surface ainsi que de la forme du relief au site d'étude.

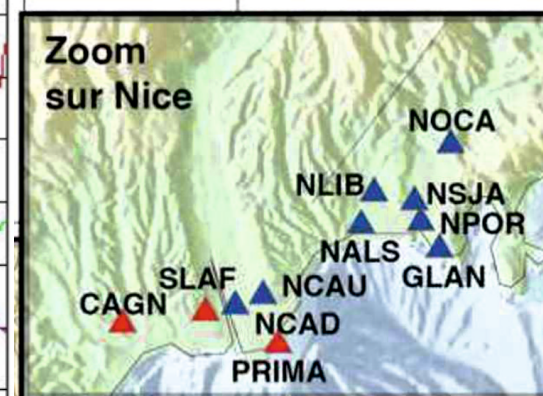


## Aléa sismique local

### Exemple à Nice, M = 5,1 (2001)



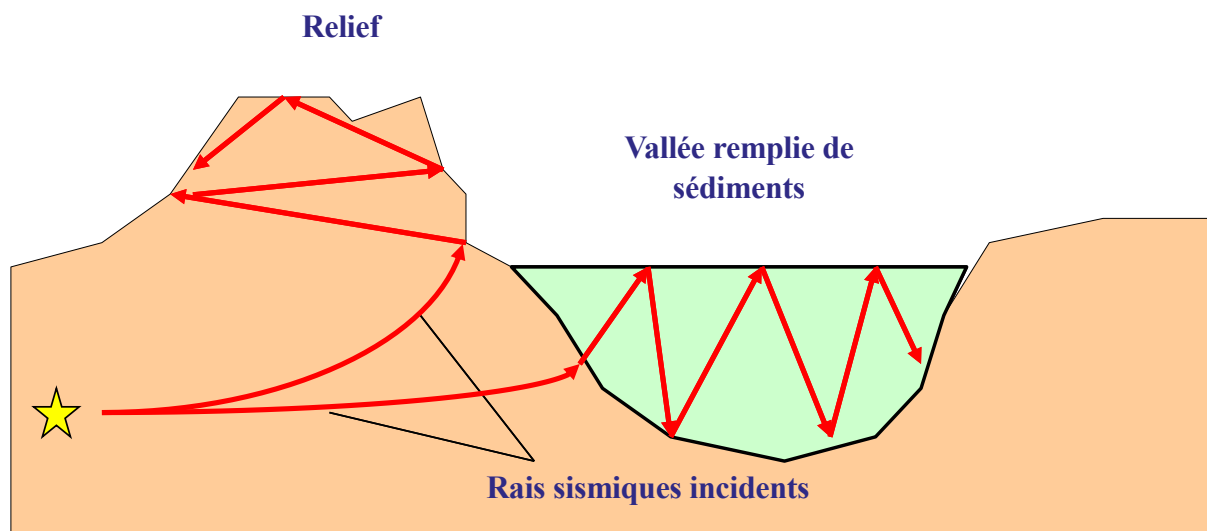
**Résif**  
Réseau sismologique et géodésique français



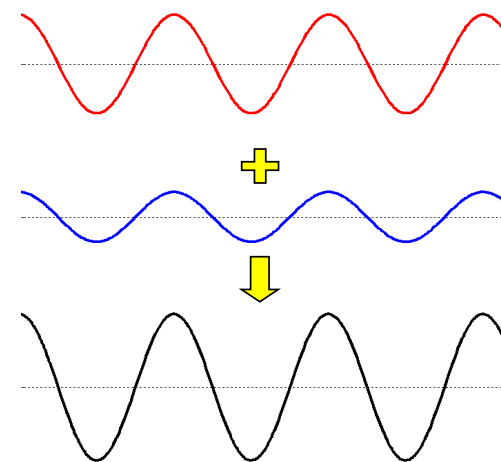


## Aléa sismique local

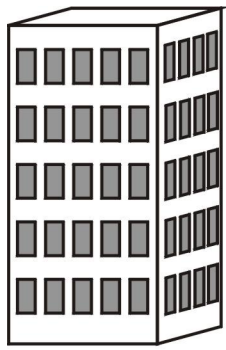
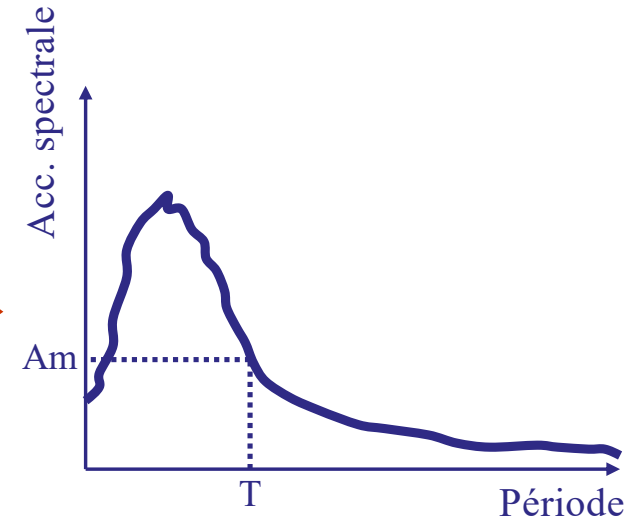
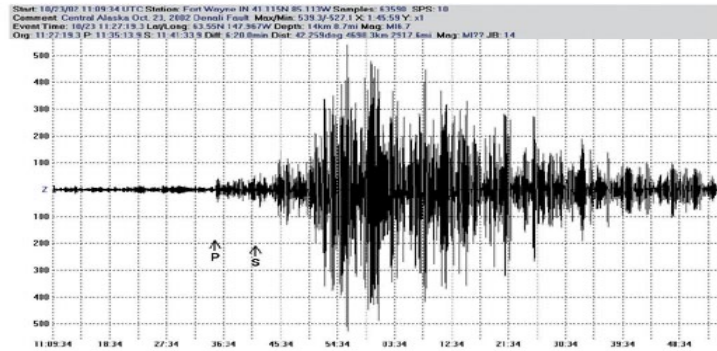
Amplification du mouvement sismique en surface par piégeage des ondes :



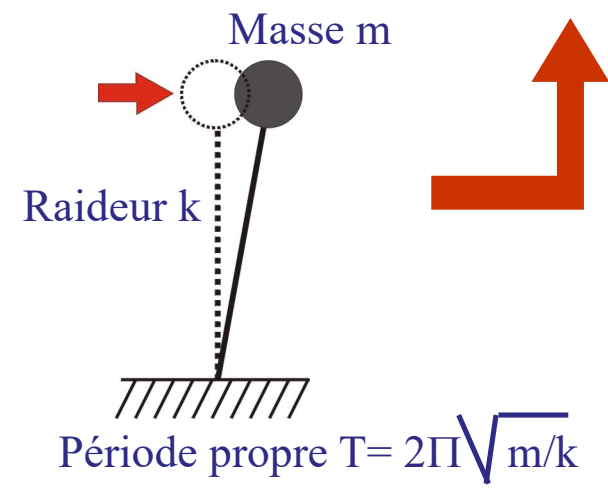
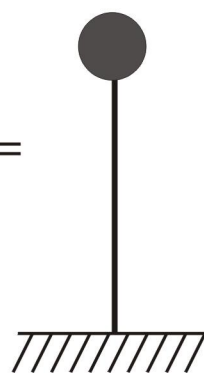
Interférences constructives



# Spectre de réponse élastique : un outil pour le dimensionnement des structures :

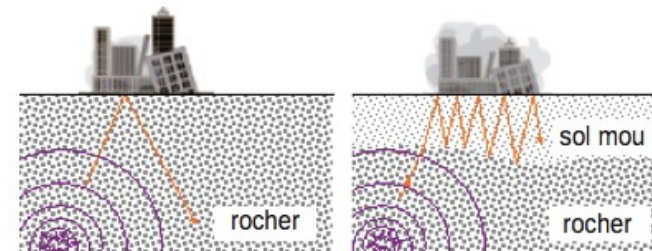


=



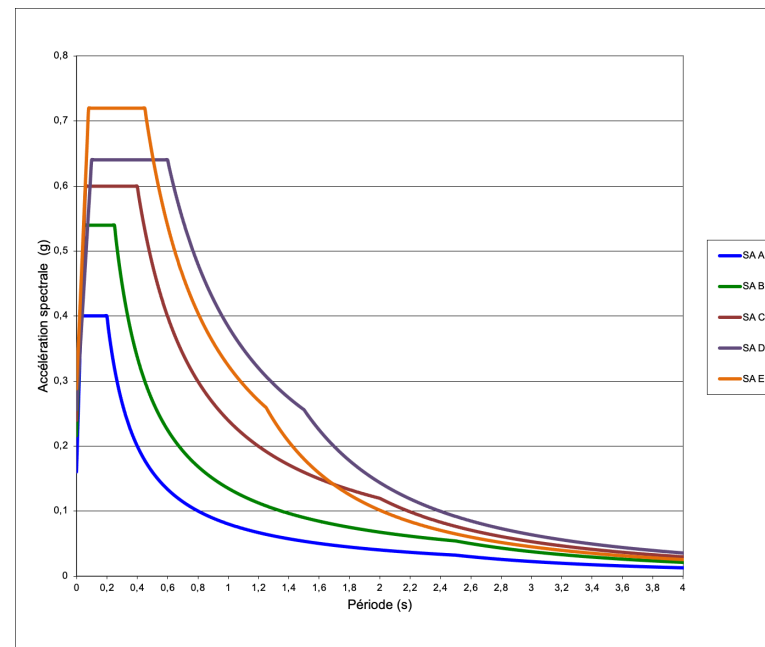
## Prise en compte de la nature des sols dans la réglementation (EC8) :

Les spectres de réponse réglementaires intègrent une classe de sol dépendant principalement d'un paramètre géomécanique :  $V_{s,30}$  (moyenne quadratique de la vitesse de propagation des ondes de cisaillement sur les 30 premiers mètres).



Amplification du signal sismique suivant la nature du sol

| Classe de sol | Description du profil stratigraphique   | Paramètres       |                     |             |
|---------------|---|------------------|---------------------|-------------|
|               |   | $V_{s,30}$ (m/s) | $N_{SPT}$ (bl/30cm) | $c_u$ (kPa) |
| A             | Rocher ou tout autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.   | > 800            | —                   | —           |
| B             | Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile surconsolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur.          | 360 – 800        | > 50                | > 250       |
| C             | Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.   | 180 – 360        | 15 - 50             | 70 - 250    |
| D             | Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité des sols cohérents mous à fermes.   | < 180            | < 15                | < 70        |
| E             | Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de $V_s$ de classes C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $V_s > 800$ m/s |                  |                     |             |



## **2- PPRs à Nice**

## Pourquoi un PPRs à Nice ?



### Une zone à enjeux :

- Une ville importante (350 000 habitants, 5ème ville de France, destination touristique) assez exposée,

Une volonté de l'Etat local de mettre en place une politique de prévention ambitieuse sur tous les risques face à la pression foncière et immobilière que subit le département

- Des collectivités locales impliquées dans la gestion du risque sismique,
- et des « moyens humains » de l'Etat sur place ...





## Pourquoi un PPRs à Nice ?

Des études et des résultats importants à capitaliser et à faire connaître sur ce territoire

| Etudes      | date | Aléa Régional | Aléa local | Enjeux | Vulnérabilité | Scénario |
|-------------|------|---------------|------------|--------|---------------|----------|
| MZ-Nice1983 | 1983 | +             | +          |        |               |          |
| GEMITIS     | 1998 | ++            | ++         | ++     | ++            | +        |
| RISKUE      | 2004 | ++            | ++         | ++     | ++            | ++       |
| GEM-GEP     | 2005 | ++            | ++         | ++     | ++            | ++       |
| PASSERELLE  | 2006 | +             | +          |        |               |          |
| QSHA        | 2008 | +             | +          |        |               |          |
| IMAGINE     | 2009 |               | +          |        |               |          |
| HOPE        | 1996 |               |            |        | +             |          |

## Calendrier :

### Principales étapes de l'établissement du PPRs à Nice :

-> 2007 : capitalisation des études et études complémentaires

-> 2010 : échanges avec le Ministère de l'Environnement sur méthodologie, résultats et documents réglementaires

Juillet 2017 : arrêté préfectoral de prescription définissant la zone du PPR et les aléas pris en compte

Janvier 2018 : arrêté préfectoral d'approbation

Estimation du coût des études : 500 000 € environ



### **3- Aléa sismique régional**

## Définition de l'aléa régional



### Sismicité régionale :

Micro-sismicité journalière

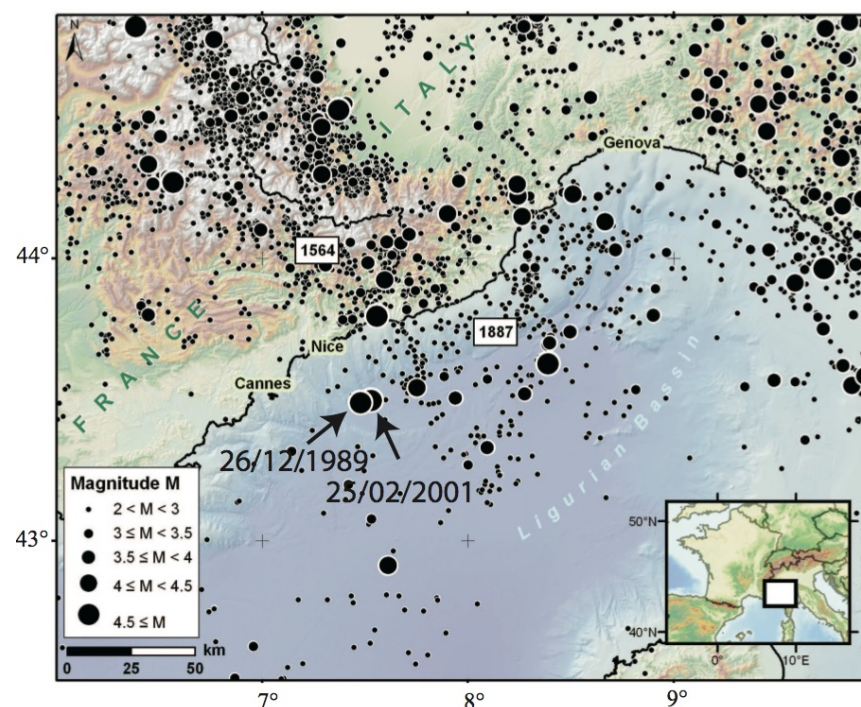
Un évènement modéré tous les 5 ans ( $M > 4.5$ )

Quelques évènements forts ( $M > 6$ ).

Des systèmes de faille hérités d'une activité ancienne

Évènements importants aux XV et XVI siècle, notamment dans le haut-pays Vésubien

Dernier séisme important : Séisme ligure de 1887 affecté l'Est du département (10 morts côté français, nombreuses destructions)



# Définition de l'aléa régional

## Spectre de réponse élastique au rocher :

Règlementation nationale :  
Nice -> Zone d'aléa sismique moyenne

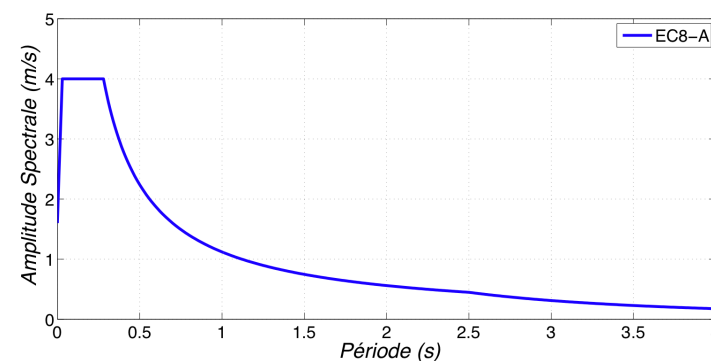
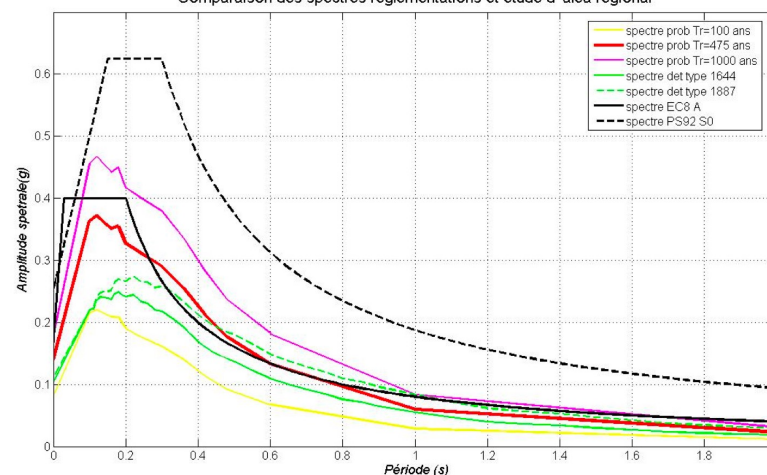
Etudes d'aléa régional spécifiques: GEMITIS,  
GEMGEP, RISK-UE, QSHA  
Définitions séismes de scénario  
Calcul d'aléa régional probabiliste

Depuis, pas de nouvelles "données"  
Spectre de réponse au "rocher" issu de l'étude d'aléa  
probabiliste proche de l'EC8 pour sol classe A.

➔ PPR Nice => Spectre Au rocher: EC8-A



Comparaison des spectres réglementations et étude d'aléa régional







## **4- Aléa sismique local - Microzonage**

## Modèle géotechnique du sous-sol

### Outil de base du microzonage

Données utilisées :

Géologie:

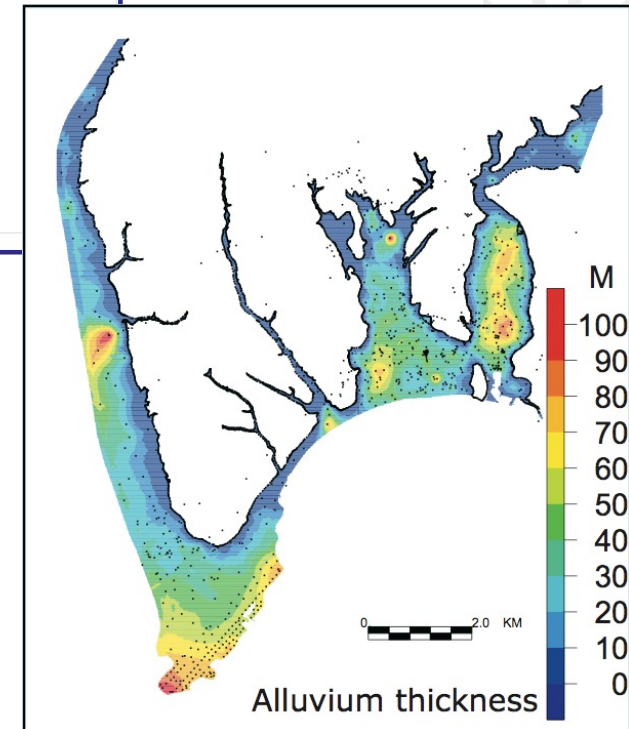
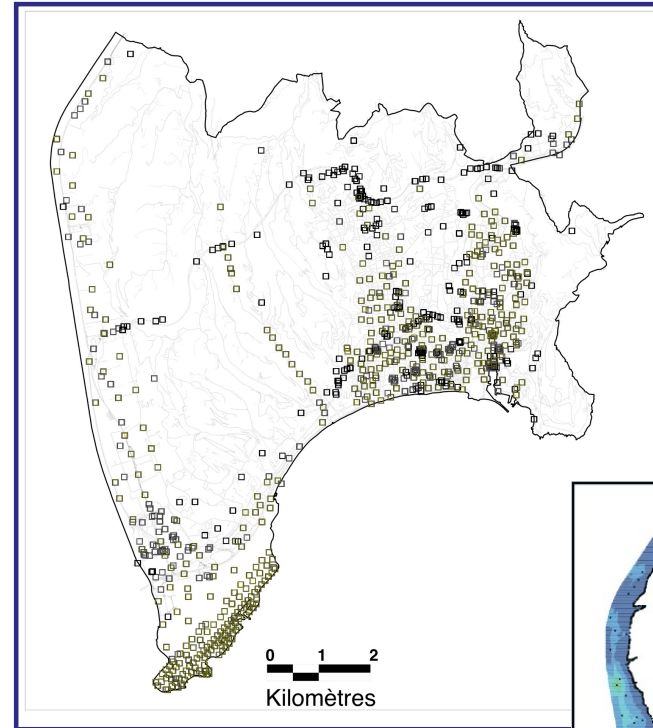
Carte géologique (1/5000) Coupe géologiques

Géotechnique:

450 sondages dans les bassins

Géophysique:

SASW (active) et mesures de bruits ambiants (passive).

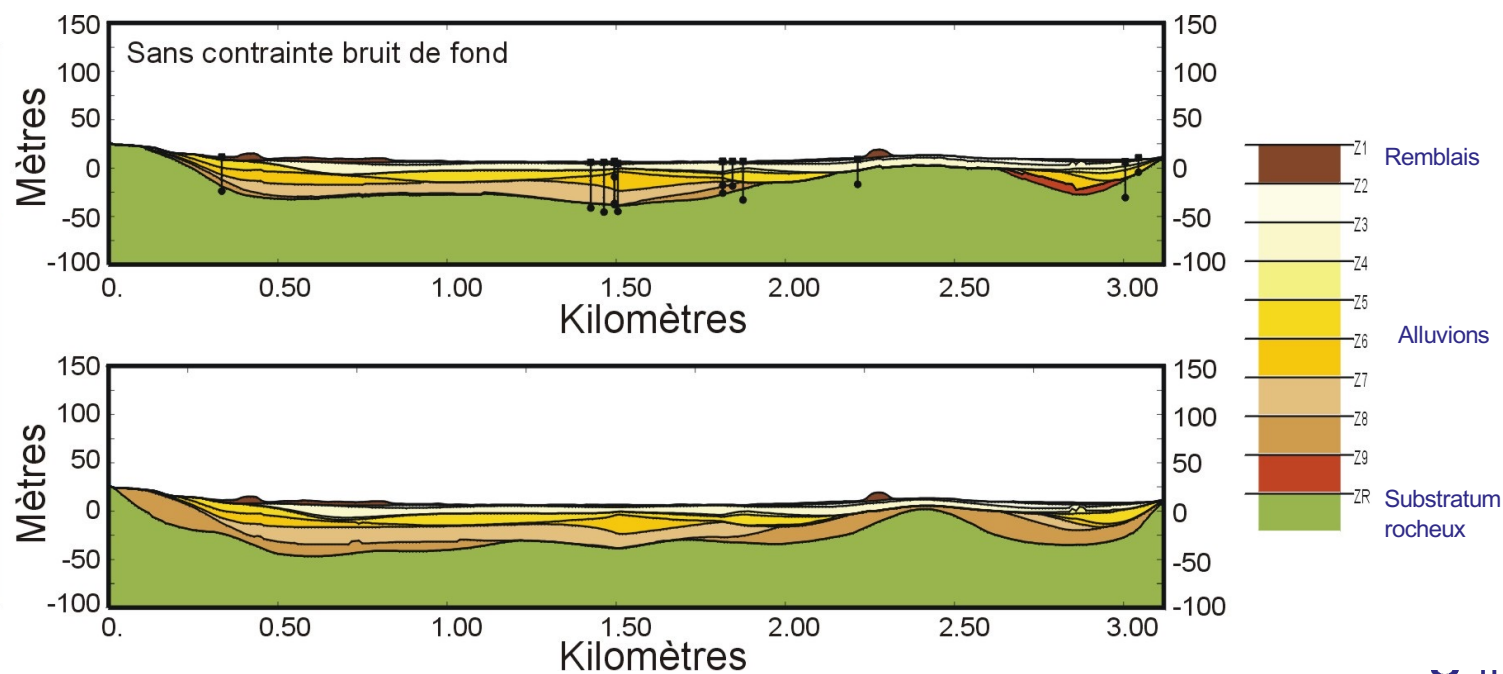
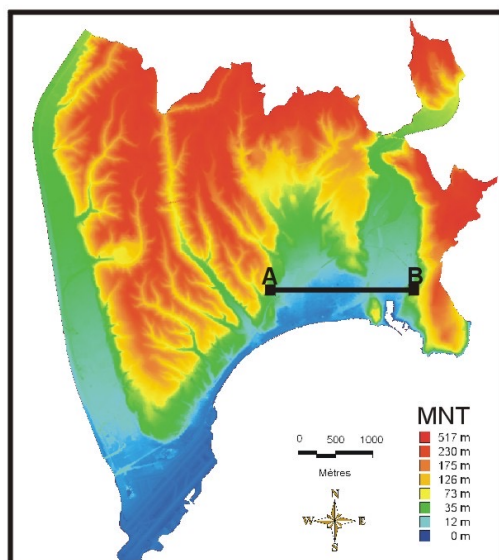


# Modèle géotechnique du sous-sol



## Outil de base du microzonage

Résultat : modèle en 9 couches sédimentaires



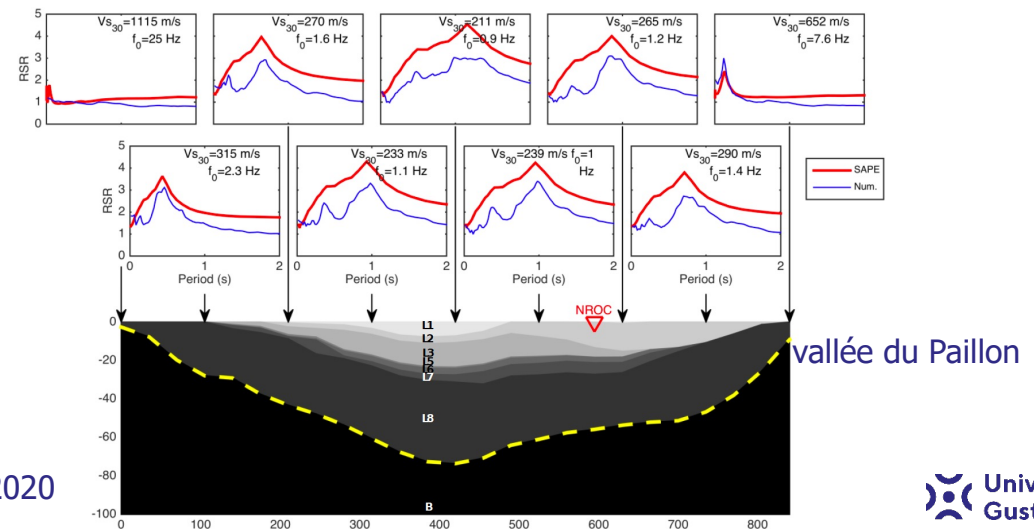
# Du modèle géotechnique au microzonage



## Plusieurs approches testées :

- 1- microzonage EC8 (à partir du calcul des  $V_{s30}$ ) : imprécis, pas site spécifique
- 2- modélisation numérique (linéaire équivalent) de colonnes de sol 1D : fastidieux, 1D uniquement
- 3 – Approche empirique : fonction SAPE (Cadet et al., 2007)

Comparaison SAPE – mod. num 1D :



Régnier et al., 2020

# Du modèle géotechnique au microzonage

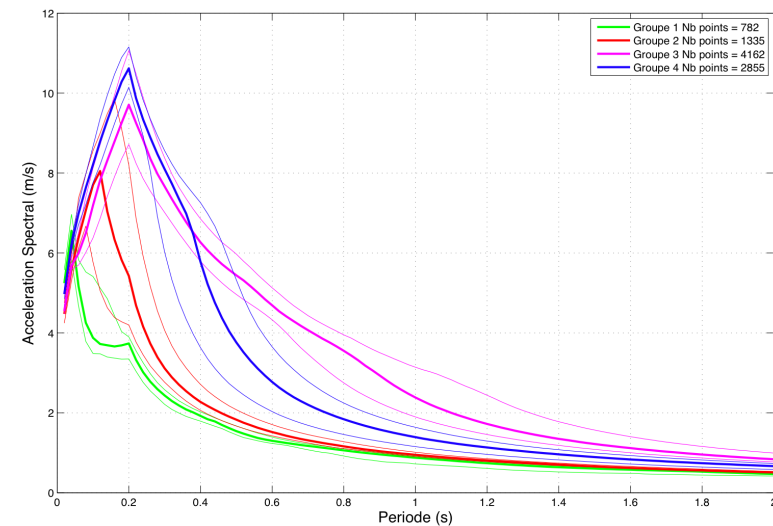


## Principe de la méthode : correction standardisée des spectres au rocher.

1. Calcul des spectres en surface méthode empirique SAPE

2. Regroupement des spectres de formes similaires

3. Définition de spectres réglementaires spécifiques



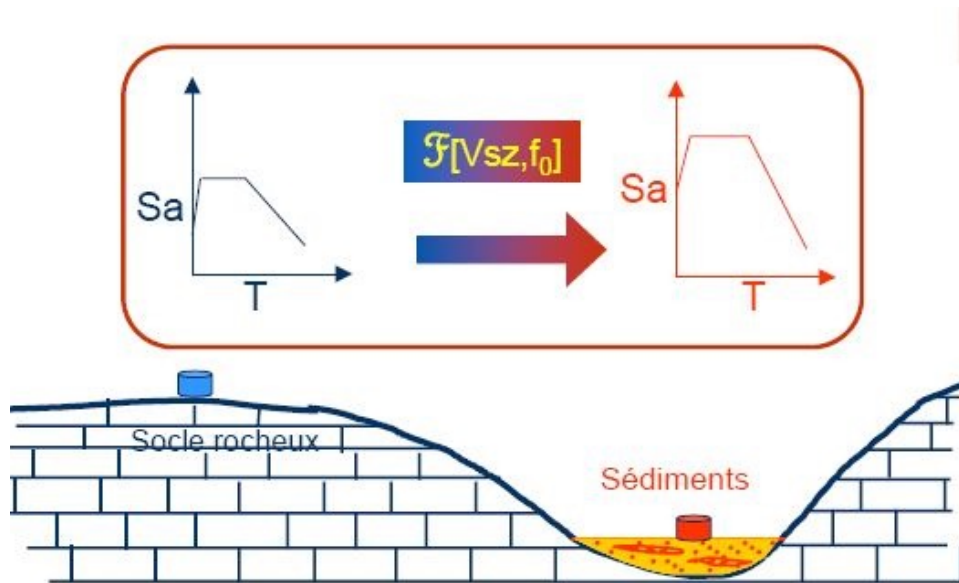


## Du modèle géotechnique au microzonage



### Calcul des spectres en surface : méthode SAPE (Cadet et al., 2007)

- 1- Calcul de la fonction correctrice  $F_c(V_{sz}, f_0)$  à chaque nœud du modèle (environ 9000 points)
- 2- multiplication de  $F_c$  par le spectre de réponse élastique au rocher



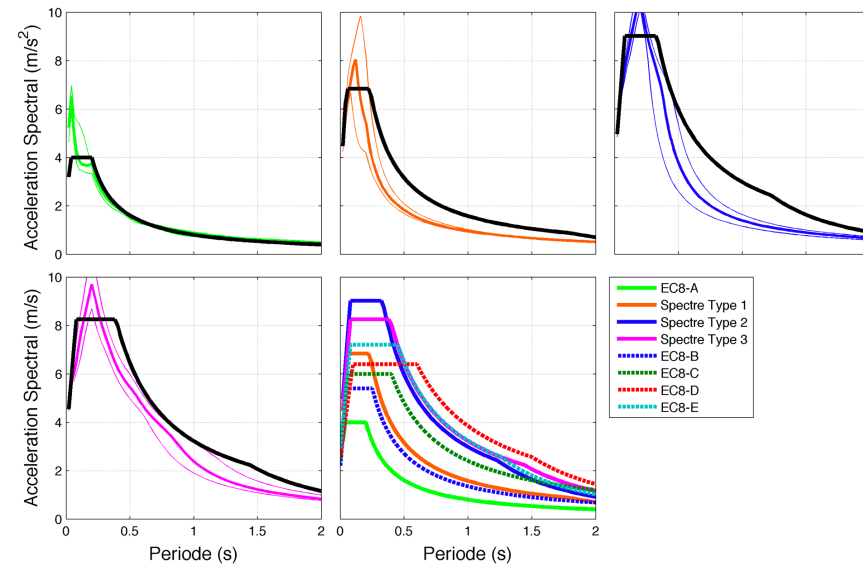
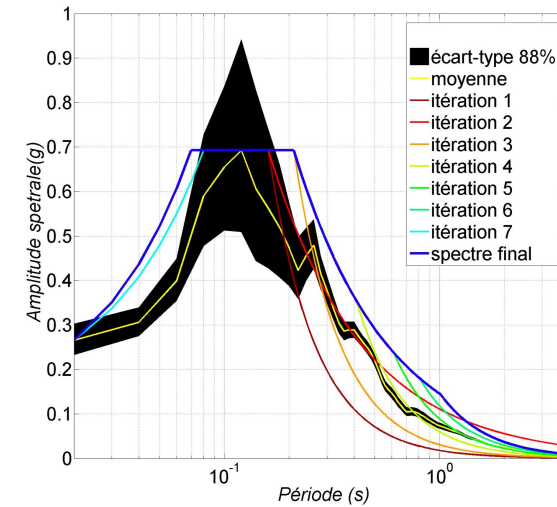
- $V_{sz}$ : vitesse moyenne des ondes de cisaillement sur les  $z$  premiers m
- $F_0$  : Fréquence de résonance 1D du site.

$$ASAF(x_{ref}, f_{ad}) = \left( \frac{x_{ref}(f_{ad})}{x} \right)^{a(f_{ad})}$$

## Du modèle géotechnique au microzonage

### Spectres de réponse élastique retenus :

1. Calcul du spectre en surface sur 9200 points dans Nice
2. Regroupement des spectres de formes similaires (4 zones dont le rocher))
3. Définition de spectres réglementaires spécifiques



## Microzonage

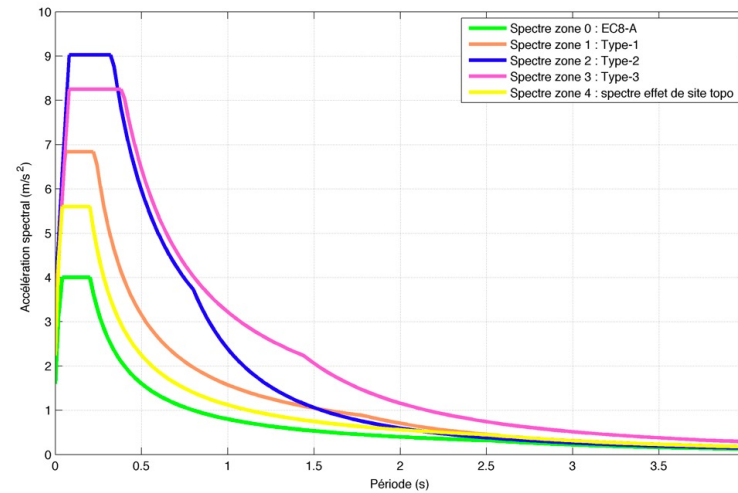
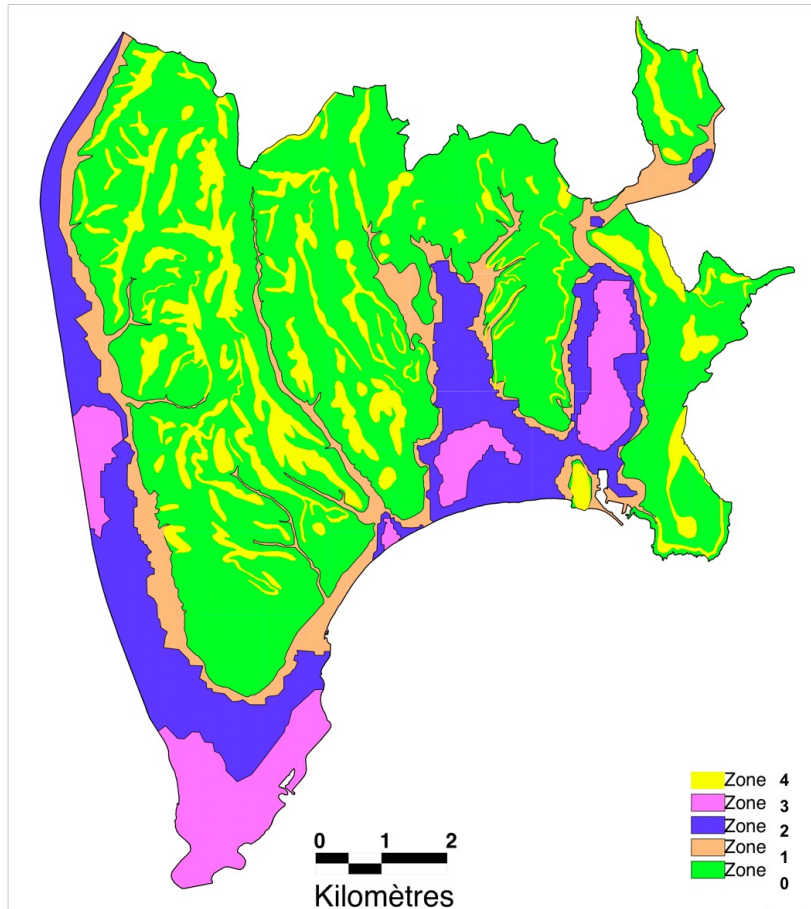


Figure 2 : Spectres de réponse spécifiques PPR sismique de Nice.

Aléa régional : spectre EC8 pour classe de sol A

Aléa local : Microzonage en 5 zones

Comprenant effets de site topographiques et lithologiques.

Forme des spectres conforme à la norme EC8, paramètres de calage spécifiques pour chaque zone.



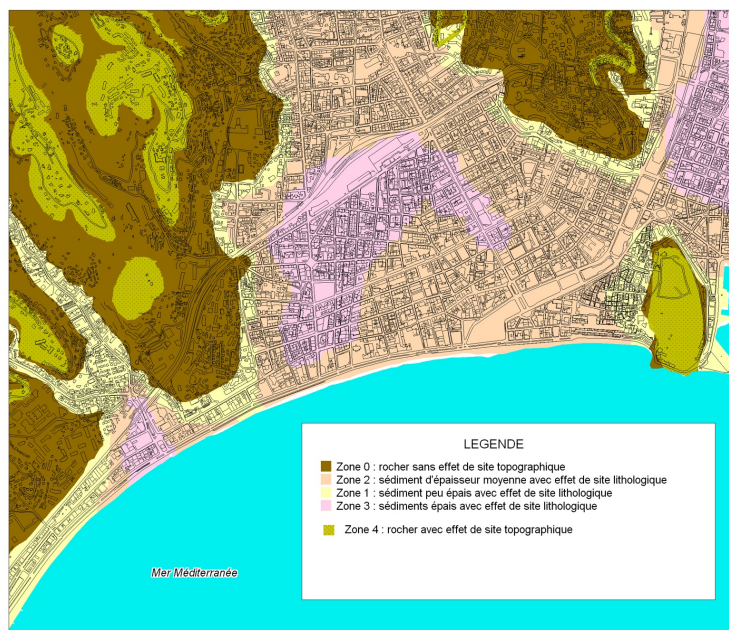
## **6- Mise en œuvre**

## PPRs à Nice :



Le PPRs de Nice a été approuvé par arrêté préfectoral en janvier 2018 :

- pas d'interdiction de construire (zones rouges)
- de nouvelles conditions à prendre en compte pour les constructions neuves
- pas d'exigence sur les constructions existantes (hors travaux lourds)





## Des points forts :

Aléa local :

Forme des spectres conforme à la norme EC8, paramètres de calage spécifiques pour chaque zone.

Méthodologie mise en œuvre reproductible et données disponibles.

Plus d'étude de sol spécifique à mener pour l'aspect parasismique. Le spectre de réponse élastique à prendre en compte dépend de la localisation géographique et plus du type de sol.

Aléa régional :

Similitude avec la réglementation nationale.

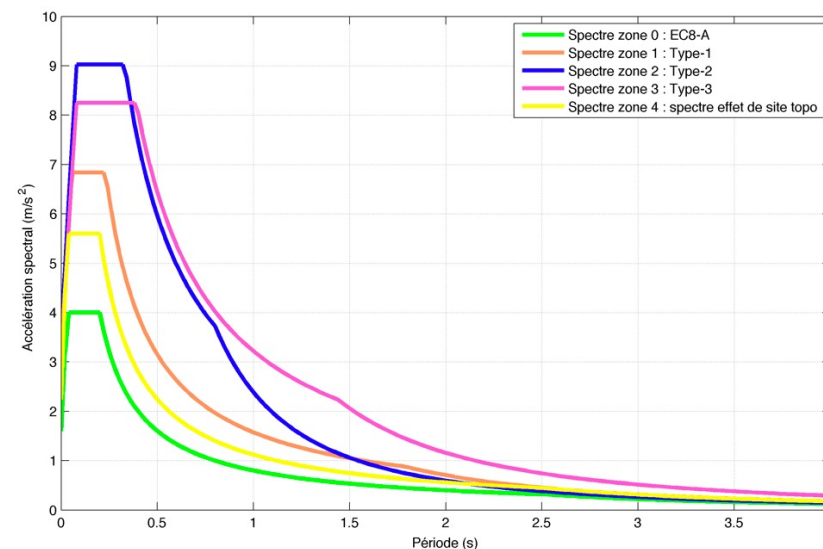


Figure 2 : Spectres de réponse spécifiques PPR sismique de Nice.

## Des difficultés d'application :

### Aléa local :

La méthodologie utilisée pour la définition du micro zonage et spécifique et non maîtrisée par le bureau d'études. Pas de lien entre les zones et les classes de sol EC8.

Que faire lorsqu'une parcelle est à cheval sur deux zones ?

Que faire lorsque il y a renforcement de sol (micro pieux, fondations profondes ....) ?

### Aléa régional :

Des études d'aléa probabilistes récentes donnent un PGA variant entre 0,86 m/s<sup>2</sup> et 1,4 m/s<sup>2</sup> de l'aéroport vers le nord-est de la ville.

Doit-on conserver le même PGA au rocher sur toute la ville ?

Peut-on diminuer l'aléa sismique par rapport à la réglementation nationale ?

Peut-on interdire les études spécifiques ?

**Etienne BERTRAND**

etienne.bertrand@univ-eiffel.fr

+33 (0)1 81 66 82 41



Université  
Gustave Eiffel