

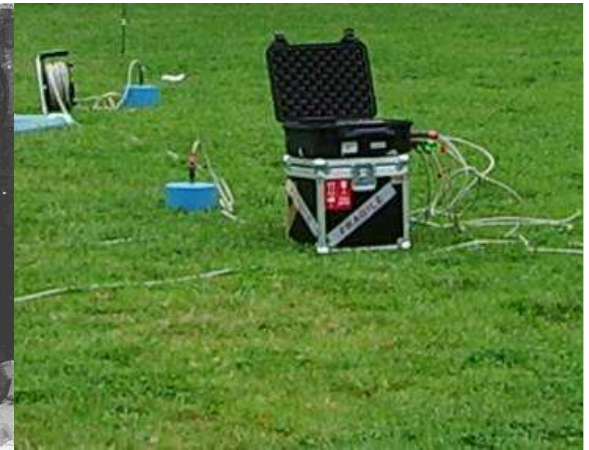
**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# La robustesse des installations nucléaires au regard de l'aléa sismique - Volet aléa sismique

D. BAUMONT - IRSN/DEI/SARG/BERSSIN



Systeme de management  
de la qualite IRSN certifie

# Sommaire

Contexte tectonique et sismologique de la France Métropolitaine

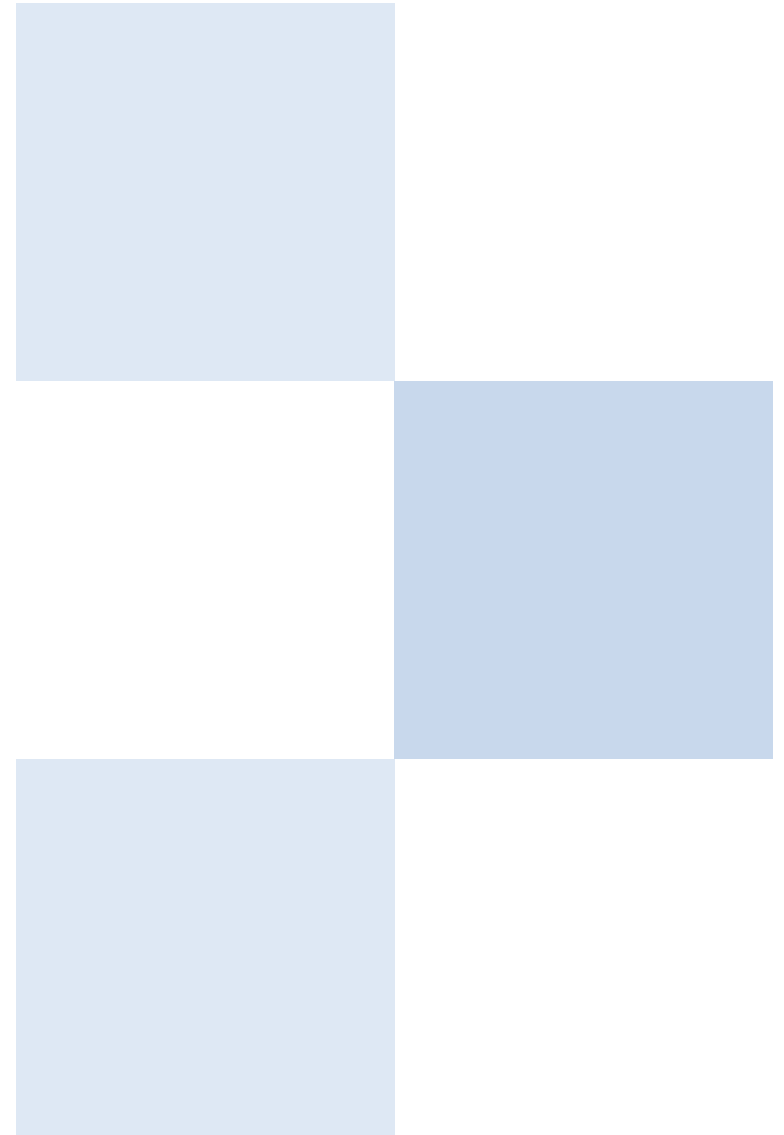
Règle Fondamentale de Sûreté 2001-01 - Principes généraux

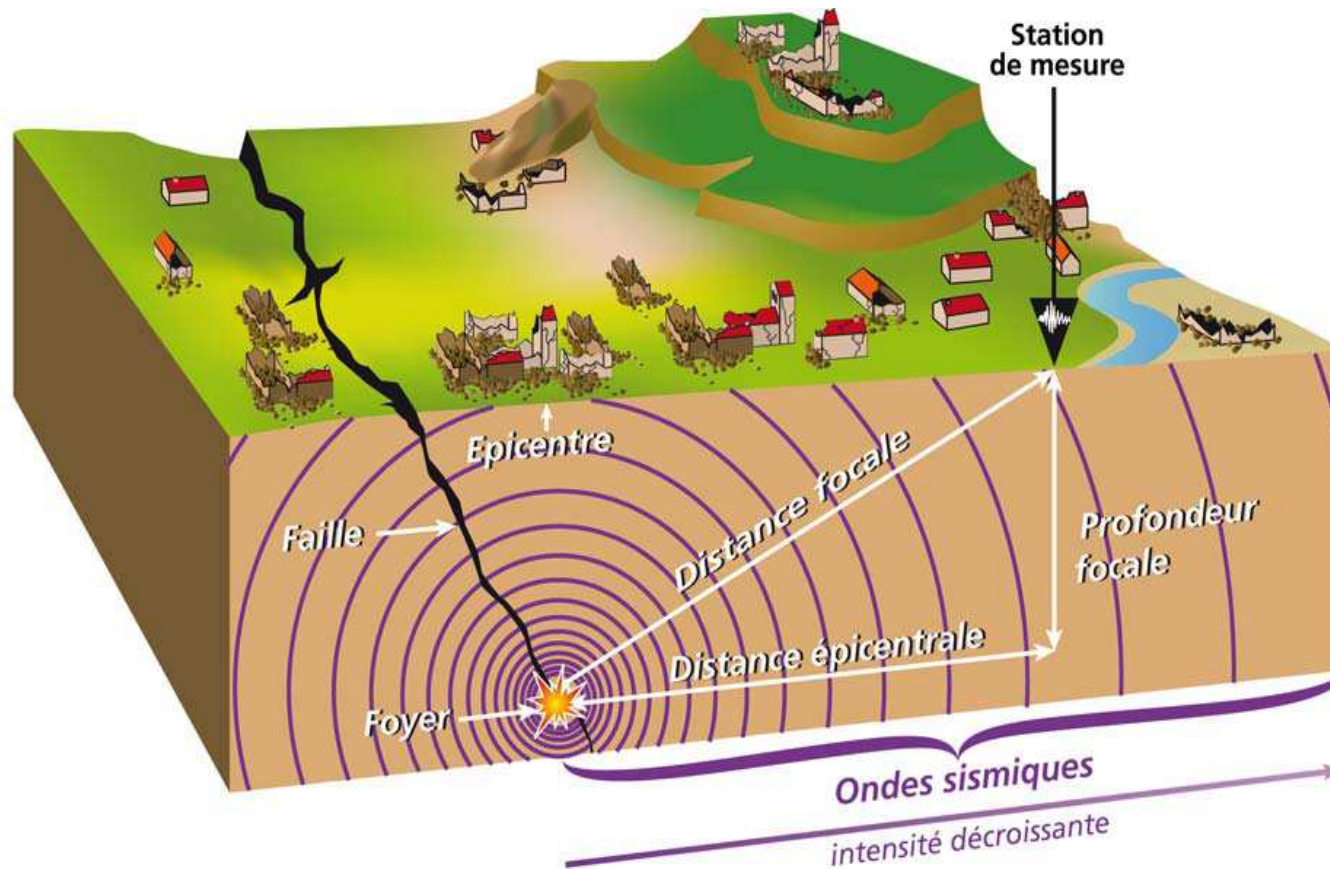
RFS 2001-01 - Analyse de sensibilité

Actions de recherche & Axes d'amélioration

Conclusions - Perspectives

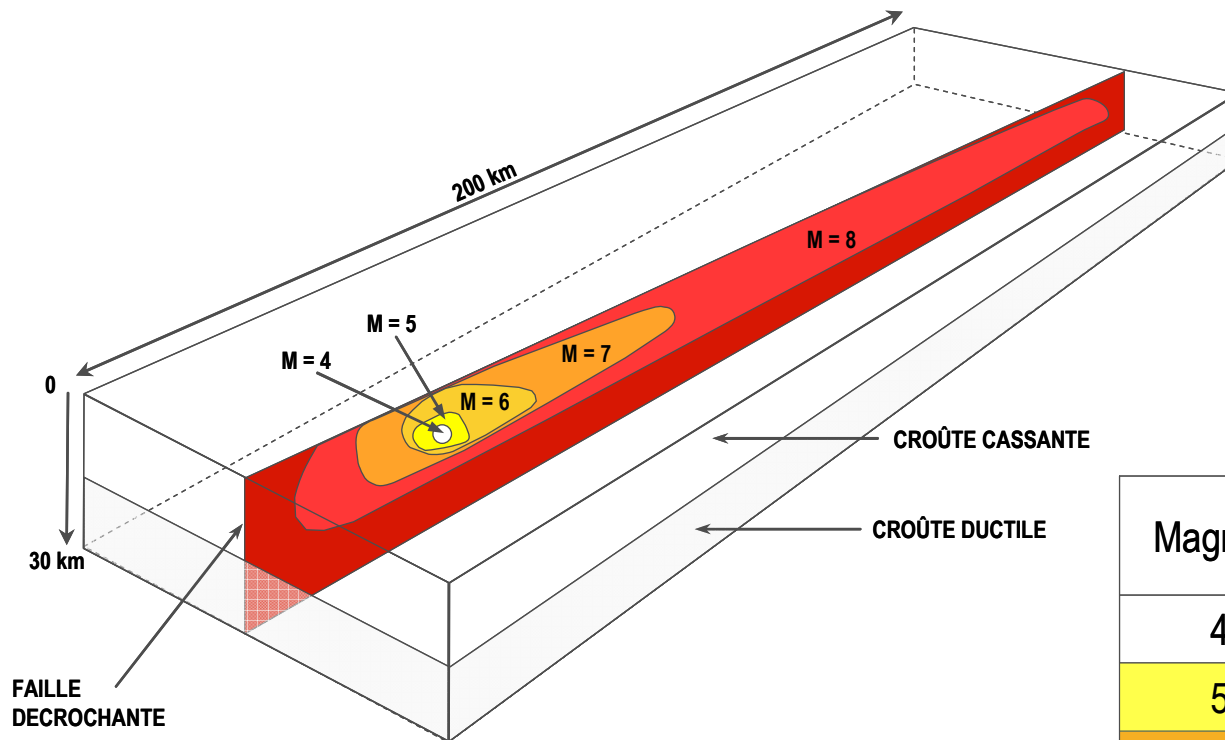
# Contexte tectonique et sismologique de la France Métropolitaine





Source MEDDTL

Un séisme résulte du glissement brutal de deux blocs de l'écorce terrestre séparés par une faille, libérant en un instant les déformations accumulées sur une longue période de temps.



La magnitude est une mesure de l'énergie libérée par un séisme.

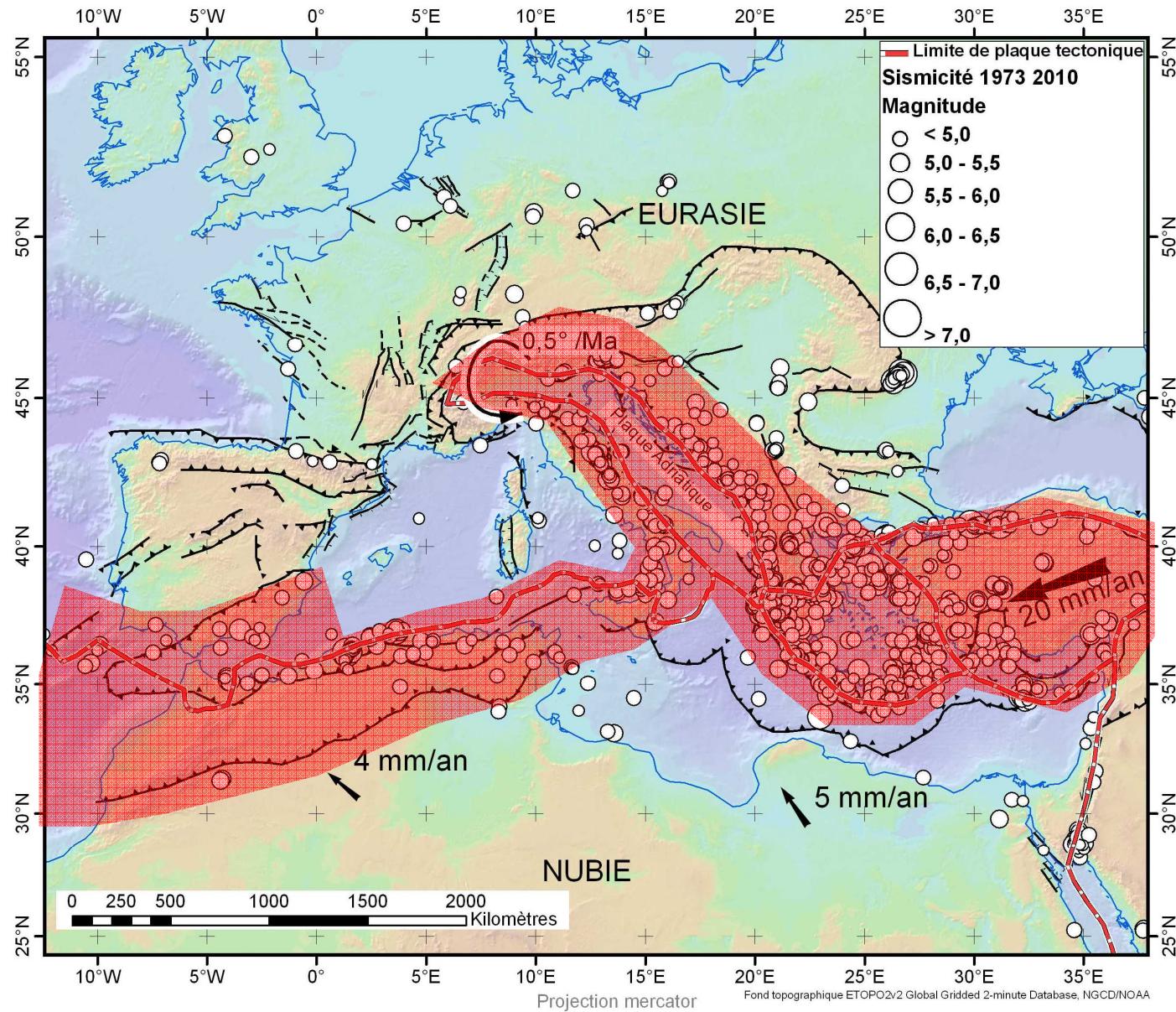
La magnitude augmente avec la surface de la faille activée et le coulissage moyen.

Magnitude	Longueur de rupture	Coulissage moyen
4,0	~1 km	~0,01 m
5,0	~3 km	~0,05 m
6,0	~10 km	~0,2 m
7,0	~50 km	~1 m
8,0	~200 km	~5 m

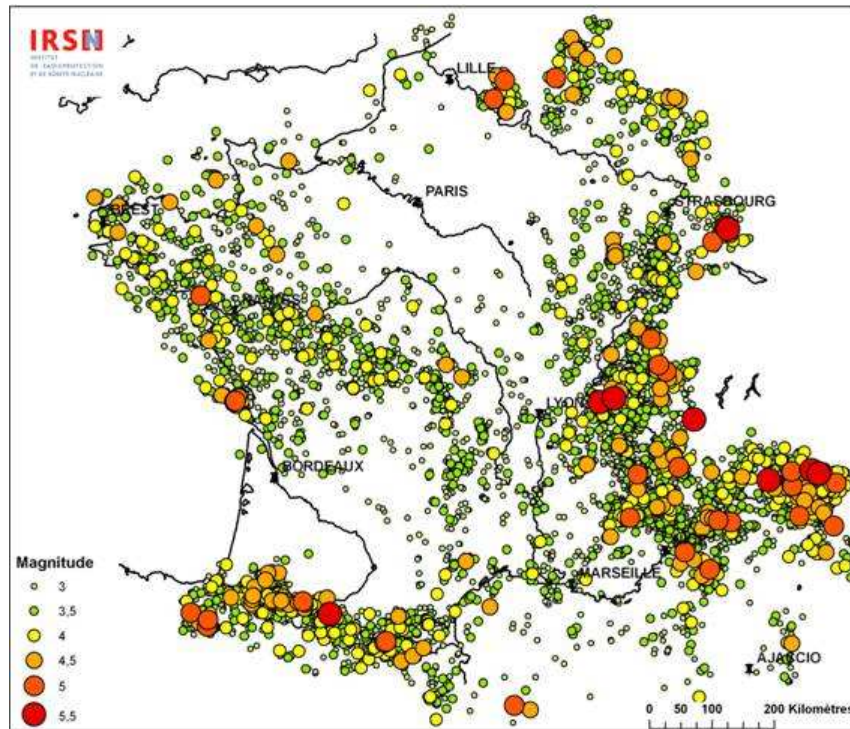
D'après Lambert et al. (1997)

Le temps de récurrence des séismes majeurs est d'autant plus long que la vitesse de chargement est lente (typiquement > 5 000 à 10 000 ans pour un magnitude 6,0 - 6,5 sur les failles actives en France)

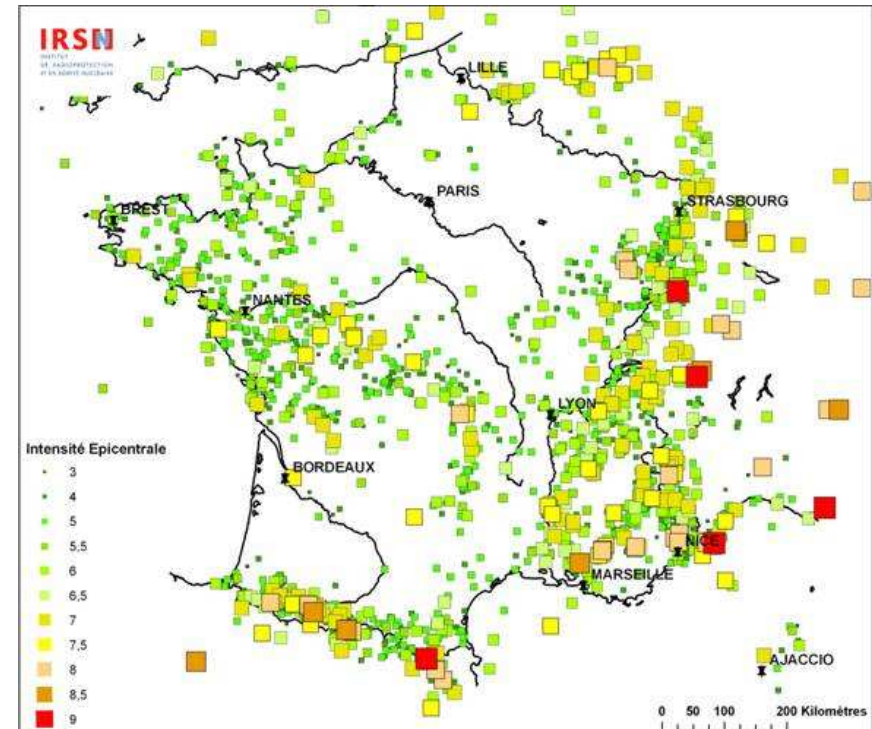




Cushing et al. (monographie du séisme de Manosque à paraître)



Données LDG/ReNASS (1962 - 2004)



Données BRGM/EDF/IRSN (1000 - 2009)

La France métropolitaine est un pays à sismicité modérée avec néanmoins quelques événements notables

~1 à 3 séismes de magnitude 6 par siècle

35 séismes au XX<sup>e</sup> ayant produit des dommages aux constructions vulnérables ( $I_0 \geq VII$ )



Principe de la démarche

Évaluer l'aléa sismique consiste à déterminer les mouvements sismiques susceptibles de se produire en un site donné :

- Définir les lieux d'occurrence des séismes (volume de croûte, failles) ;
- Caractériser l'activité de ces zones (fréquence des séismes, ou séisme de référence) ;
- Estimer les effets susceptibles d'être engendrés sur le site.

Approche déterministe

Scénarii sismiques déduits des événements les plus forts connus dans la région & marges.

Approche appliquée lors de la conception de la plupart des réacteurs existants dans le monde.  
RFS 2001-01 en vigueur en France

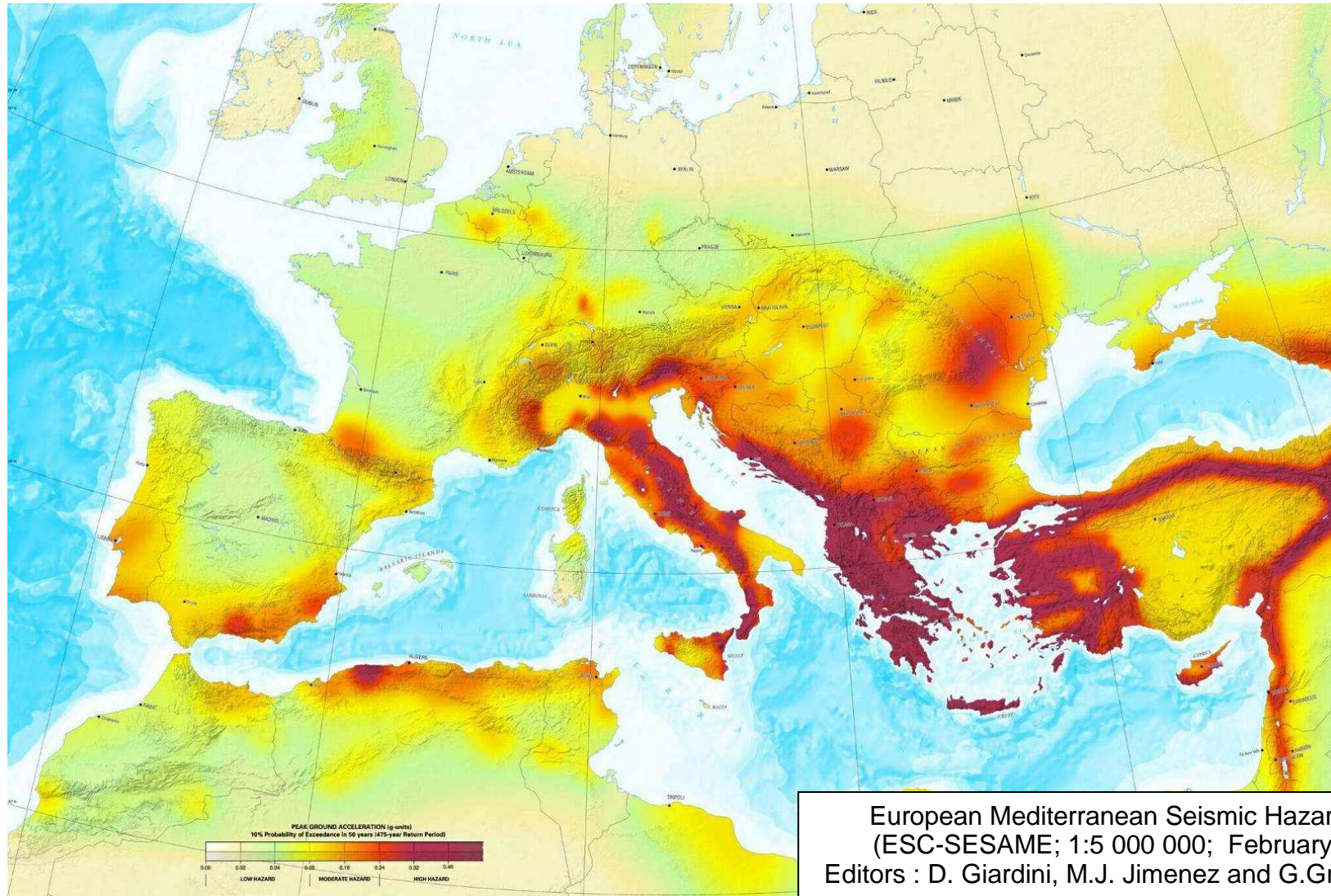
Approche probabiliste

Tous les scénarii sismiques sont pris en compte au prorata de leur probabilité d'occurrence.

Approche répandue dans la pratique internationale actuelle (INB, conventionnel EC8).  
Nouveau zonage sismique de la France

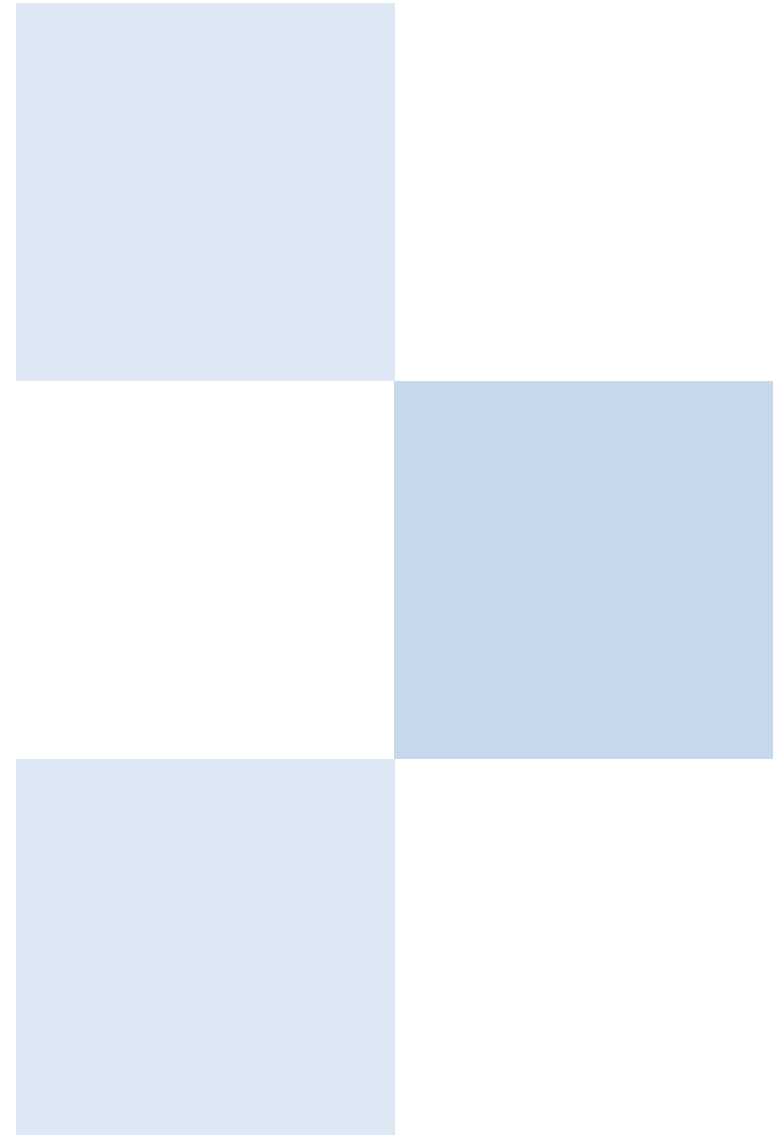


Aléa sismique associé à une probabilité de ne pas être dépassée de 90% sur 50 ans  
(i.e. période de retour 475 ans)



# Règle Fondamentale de Sûreté 2001-01

## Principes généraux





La démarche de base consiste à supposer que des séismes analogues aux séismes historiquement connus sont susceptibles de se produire dans l'avenir en un lieu qui soit plus pénalisant quant à ses effets (en termes d'intensité) sur le site, tout en restant compatible avec les données géologiques et sismologiques = **Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable (SMHV)**.

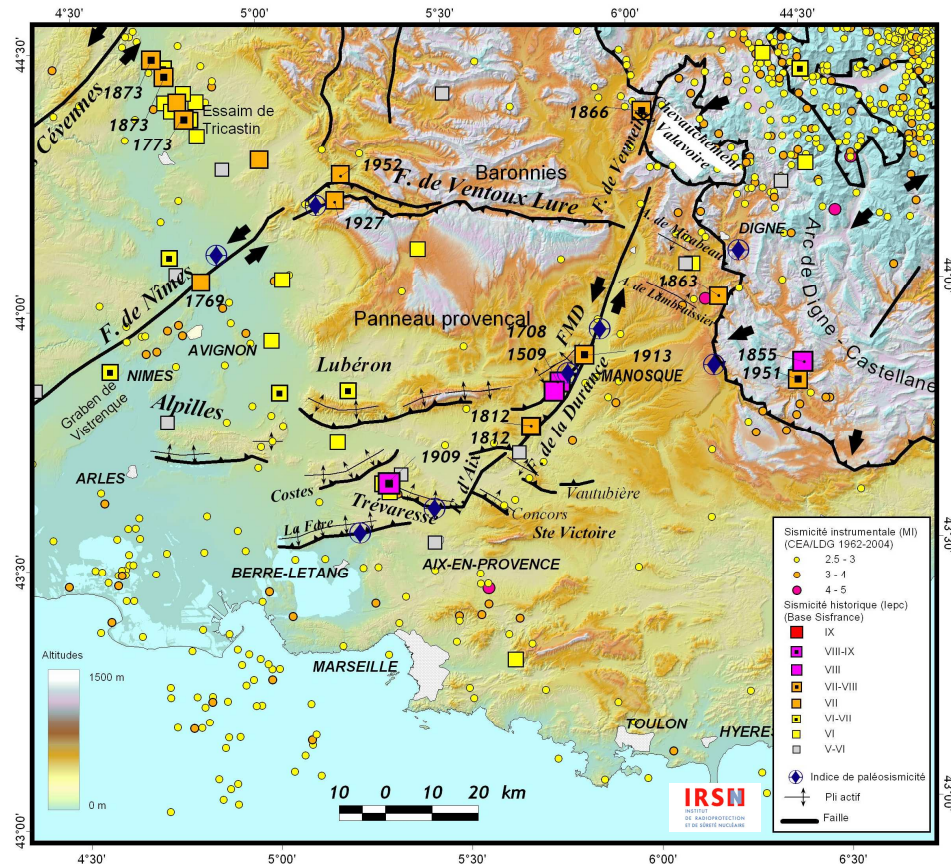
Exemple SMHV – Cadarache

**FMD - Décrochement NE-SW**

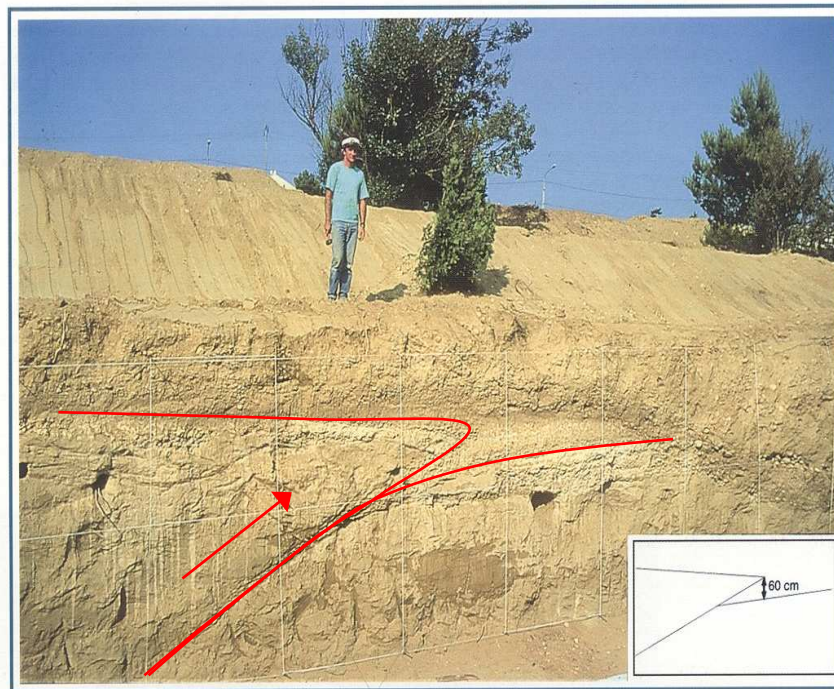
Séisme de Manosque (1708 -  $I_0 = VIII - M \sim 5$ ) translaté au plus près de CAD le long de la FMD

**Chevauchement E-W**

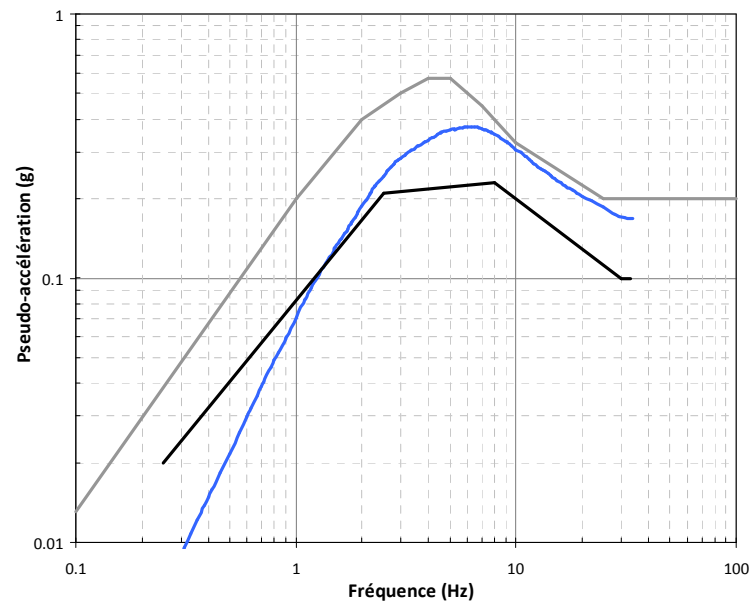
Séisme de Lambesc (1909 -  $I_0 = VIII-IX - M \sim 6$ ) translaté au plus près de CAD sur des structures analogues



- Les **séismes majorés de sécurité (SMS)** sont obtenus en majorant l'intensité du SMHV de 1 et la magnitude de 0,5 afin de tenir compte des incertitudes inhérentes à la définition du SMHV (zonages et sismicité historique).
- Prise en compte des séismes ayant laissés des traces dans les couches géologiques superficielles (**paléoséismes**) ([www.neopal.net](http://www.neopal.net));

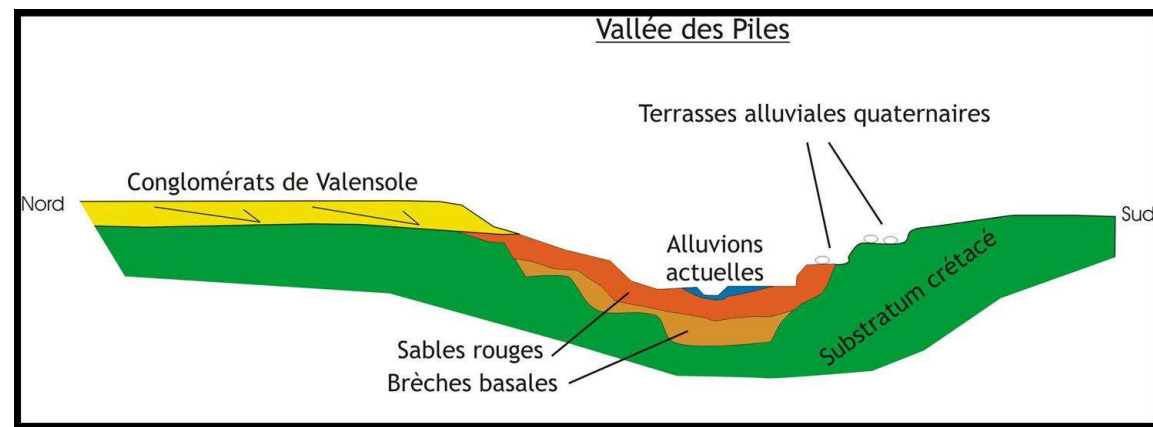






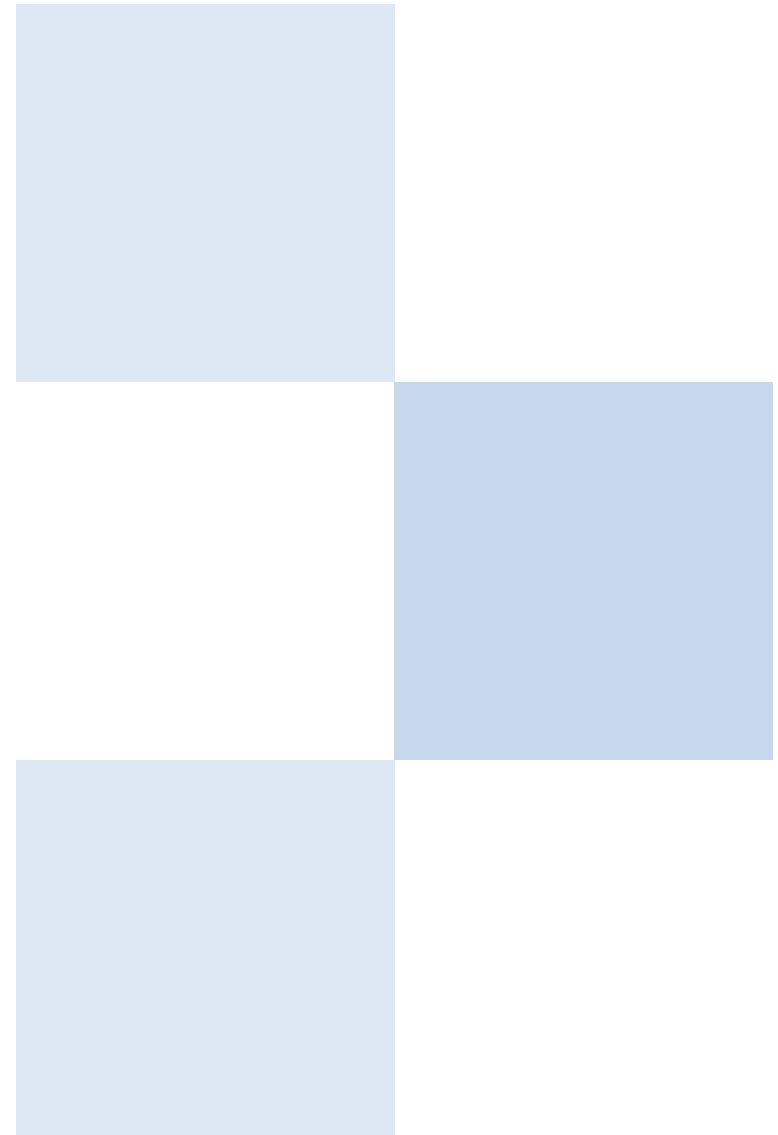
— SMS Sédiments M=5.3 Distance= 10 km - EDF 1121769  
 — Minimal forfaitaire 0,1 g sédiment  
 — EDF 0,2 g

- Calculer les **spectres de réponse** des SMS et paléoséisme ;
- **Spectre forfaitaire minimal (0,1 g)** ;
- Tenir compte des **conditions géologiques locales** qui peuvent conduire à amplifier le mouvement sismique.

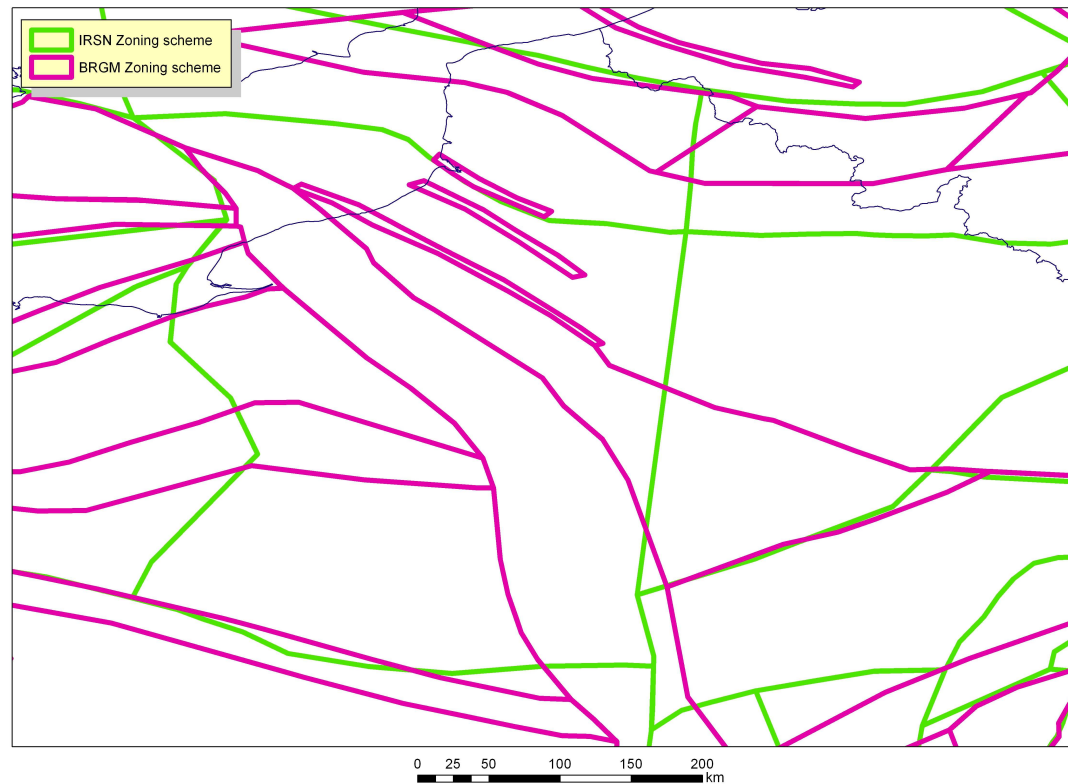


# Règle Fondamentale de Sûreté 2001-01

## Analyse de sensibilité

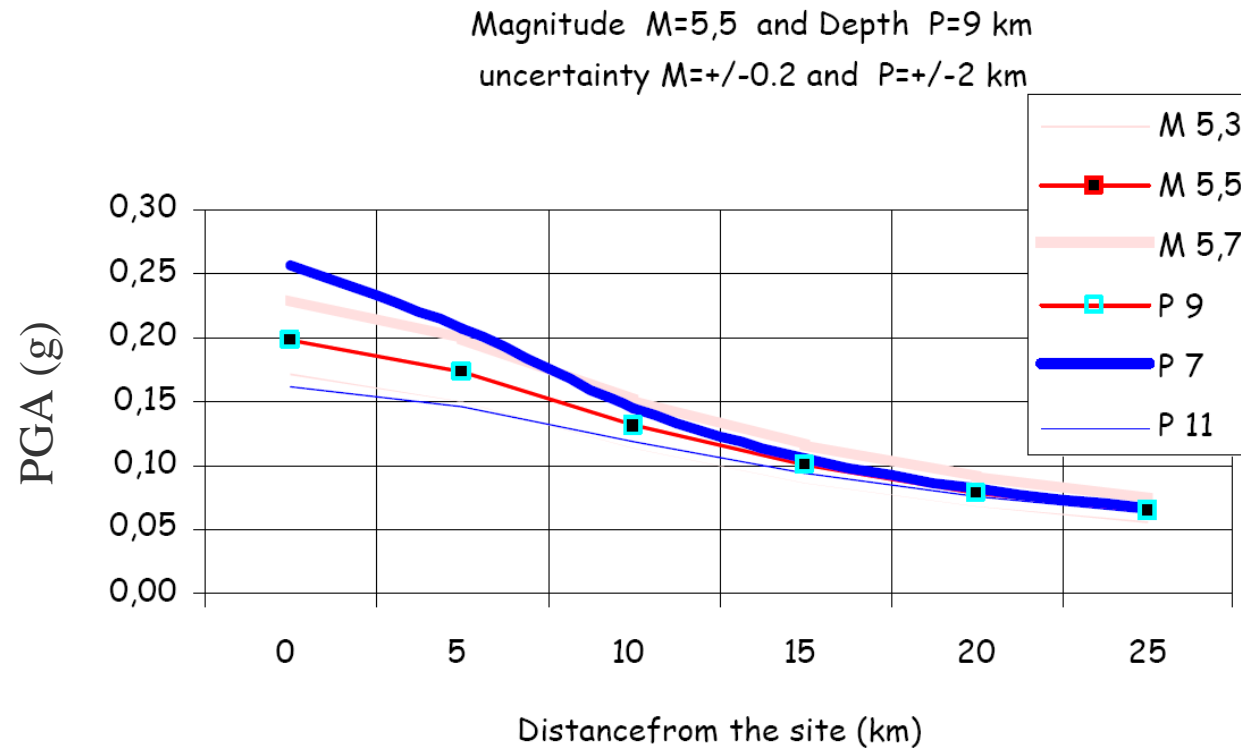


### Exemple de zonage sismotectonique dans le bassin parisien



Zonage BRGM/ICPE - Blès et al., 1998, Document BRGM 279 – 1998 & Zonage IRSN - 2006

Les niveaux d'aléa sismique sont très fortement dépendant du zonage sismotectonique  
(sélection des séismes de référence, distance après translation)



Berge-Thierry et al. (2004)

Le mouvement du sol prédit dépend fortement des caractéristiques (magnitude-profondeur-distance) des séismes de référence et donc du choix du zonage sismotectonique et de l'analyse des caractéristiques des séismes historiques.



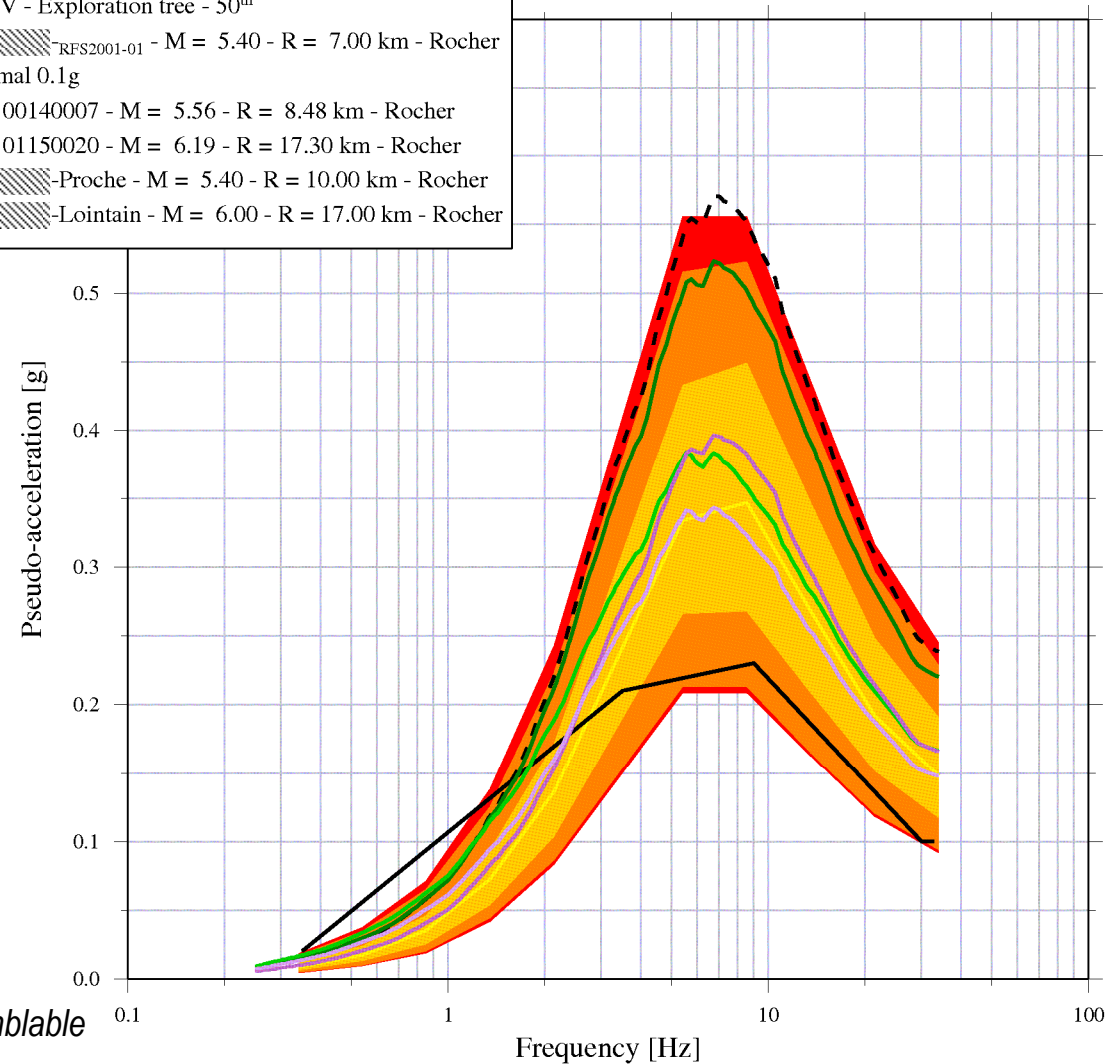
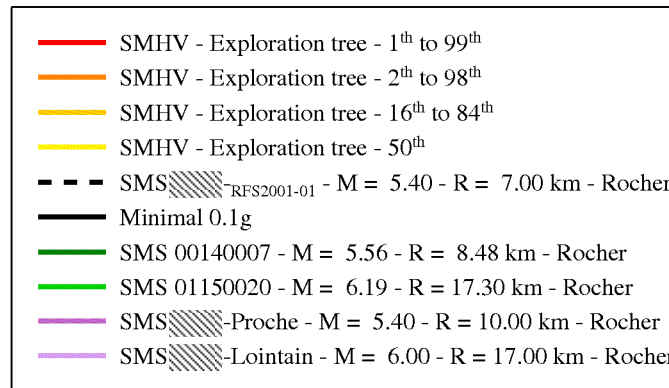
Incertitudes SMHV  
(RFS 2001-01)

Application IRSN SMS  
(RFS 2001-01)

Application NPP SMS  
(PSHA)

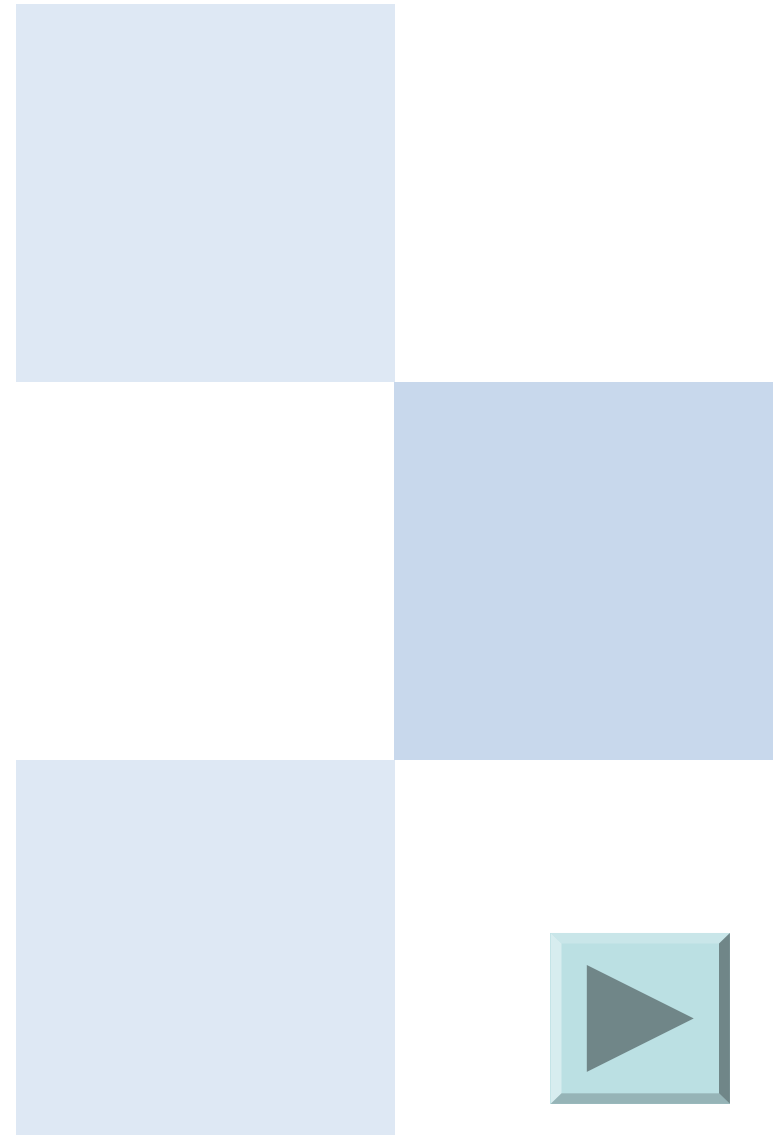
Estimation et  
propagation des  
incertitudes à chaque  
étape du calcul

Prise en compte des  
multiples avis d'expert

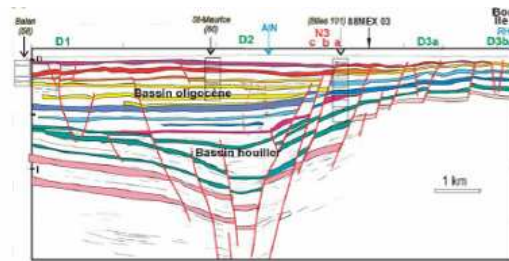


S.M.H.V = Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable  
S.M.S = Séisme Majoré de Sécurité

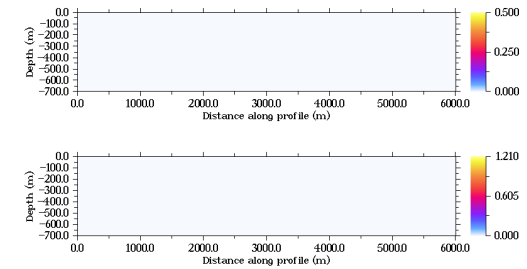
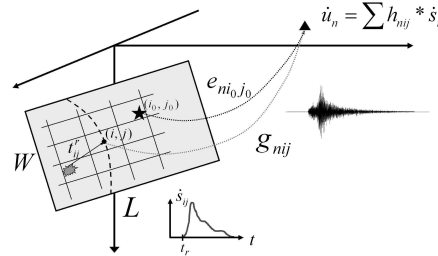
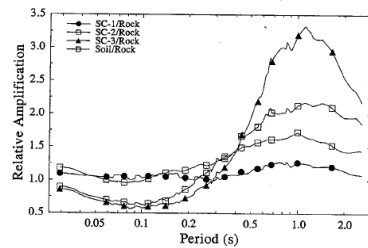
# Actions de recherche & Axes d'amélioration



## Identification et caractérisation du potentiel sismogénique des sources sismiques

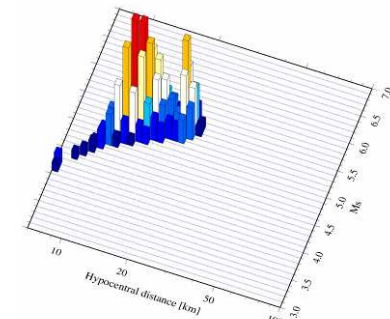
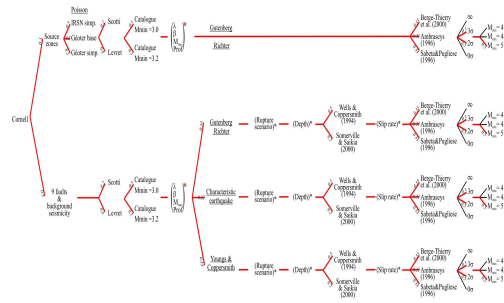
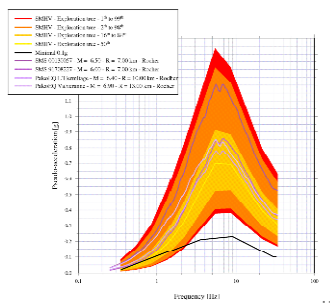


## Prédiction du mouvement sismique - Étude des effets de site

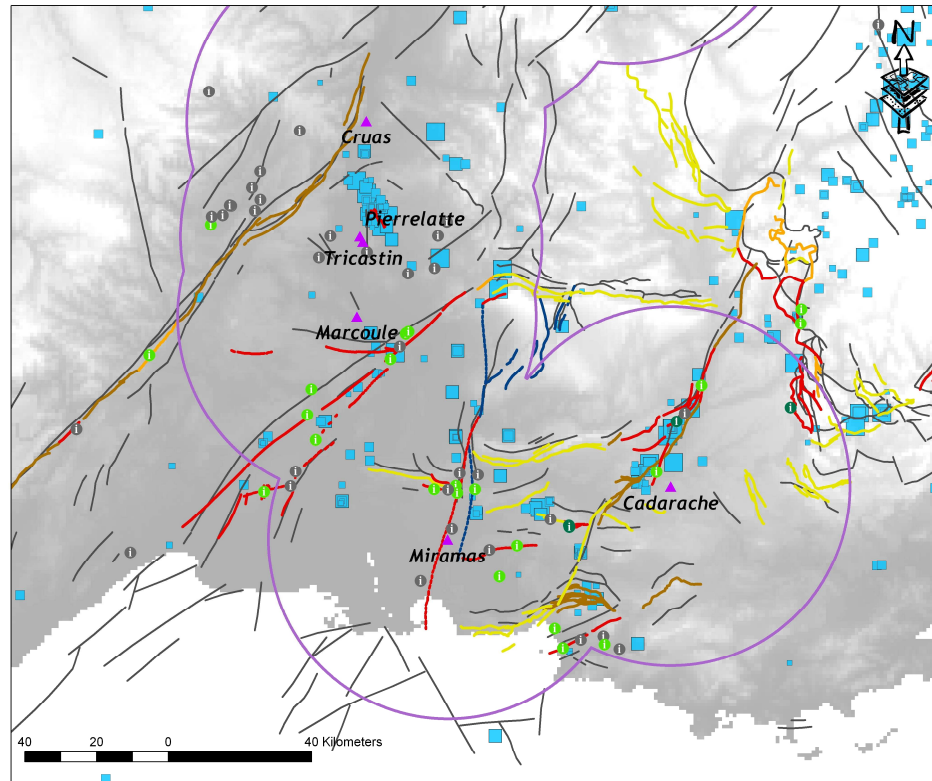


Time = 0.0s

## Estimation de l'aléa en tenant compte des incertitudes



# Identification et caractérisation du potentiel sismogénique des sources sismiques



**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**FAILLES POT. ACTIVES**

Age du dernier rejeu connu

- Miocène
- Pliocène
- Quaternaire
- indéterminé

**FAILLES POT. ACTIVES**  
**CARTE IPSN93**

**Indices néotectoniques révisés par NEOPAL**

- certain
- possible
- rejeté

**Sismicité historique**

**IEPC ≥ 6**

- 8,0 - 10,5
- 7,5 - 8,0
- 7,0 - 7,5
- 6,5 - 7,0
- 6,0 - 6,5

▲ INB  
   Zone rayon 50 km autour des INB

## Projet de création de BDD failles actives (IRSN/MEDDTL) - SIG - Fiches de synthèse

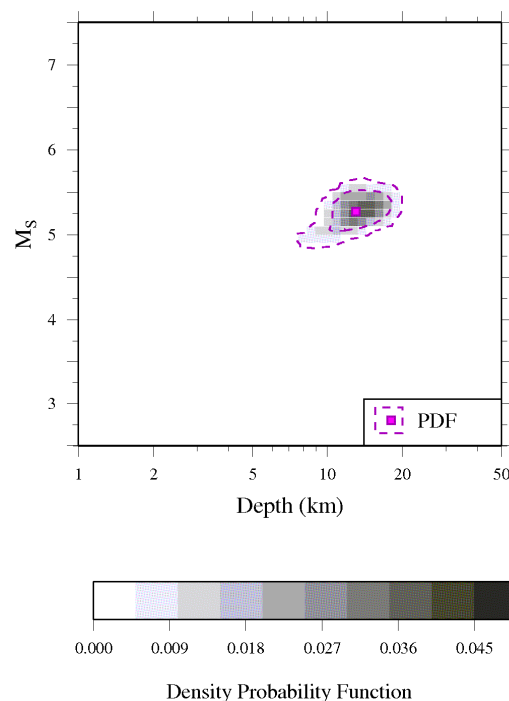
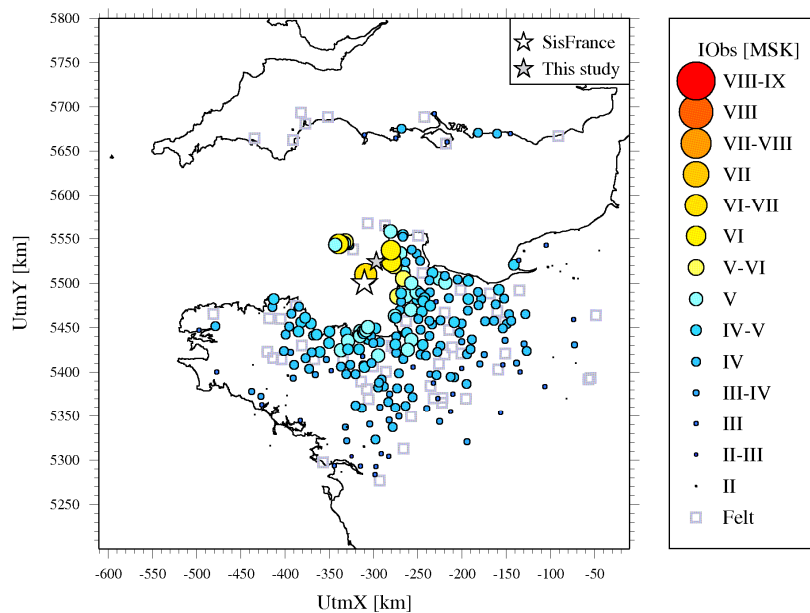
IRSN		Fiche Descriptive des Failles Potentiellement Actives, Version 28-09-2010 DEVS/AFD/BERSSIN	
11 rue des Saussaies 75008 Paris Tél. 01 40 69 30 00 Fax 01 40 69 30 01 Courriel : irsn@irsn.fr		Révisé par : DEVS/AFD/BERSSIN Date de révision : 28/09/2010 Version : 28-09-2010	
<b>Fiche descriptive de faille</b>		Nom : <b>La faille de Mânes - FM</b> ID Faille : <b>10005 (EMD11,2010)</b> Région : <b>PGA</b> INB à proximité : <b>Maroué</b>	
<b>Description générale</b>	La zone de faille de Mânes (FM) est un des accidents tectoniques de la France qui a contribué à la structuration de la zone sismogénique de la région. Elle est une zone sismogénique active de la tectonique récente.		
<b>Observations</b>	La zone de faille de Mânes forme un 3ème ordre tectonique. Elle est de type de décrochement NE-SW, composée d'une faille principale (Mânes) qui se prolonge vers le nord-est, vers la faille de la Durance, et d'une faille secondaire (Mânes) qui se prolonge vers le sud-ouest, vers la faille de la Durance.		
<b>Traces</b>	La trace de la faille de Mânes est visible sur les cartes géologiques de la région. Elle est caractérisée par une dépression linéaire et une zone de dépression.		
<b>Évaluation sismologique</b>	La zone de faille de Mânes est une zone sismogénique active de la tectonique récente. Elle est caractérisée par une dépression linéaire et une zone de dépression.		
<b>Observations géologiques</b>	La zone de faille de Mânes est une zone sismogénique active de la tectonique récente. Elle est caractérisée par une dépression linéaire et une zone de dépression.		
<b>Age</b>	La zone de faille de Mânes est une zone sismogénique active de la tectonique récente. Elle est caractérisée par une dépression linéaire et une zone de dépression.		
<b>Classification</b>	La zone de faille de Mânes est une zone sismogénique active de la tectonique récente. Elle est caractérisée par une dépression linéaire et une zone de dépression.		

- **Inventaire et caractérisation des structures potentiellement actives à proximité des INBs** (géométrie, segmentation, âge des terrains affectés, paléoséisme, Mmax, taux de glissement, etc.) et investigations complémentaires sur des cibles identifiées ;

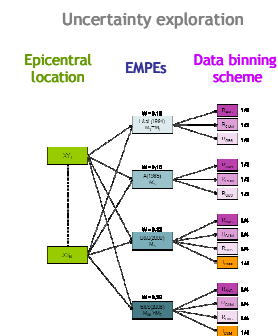
- **Séisme Maximum Physiquement Possible** (taille de la faille) & **Évaluation probabiliste de l'aléa** (modèle par failles);



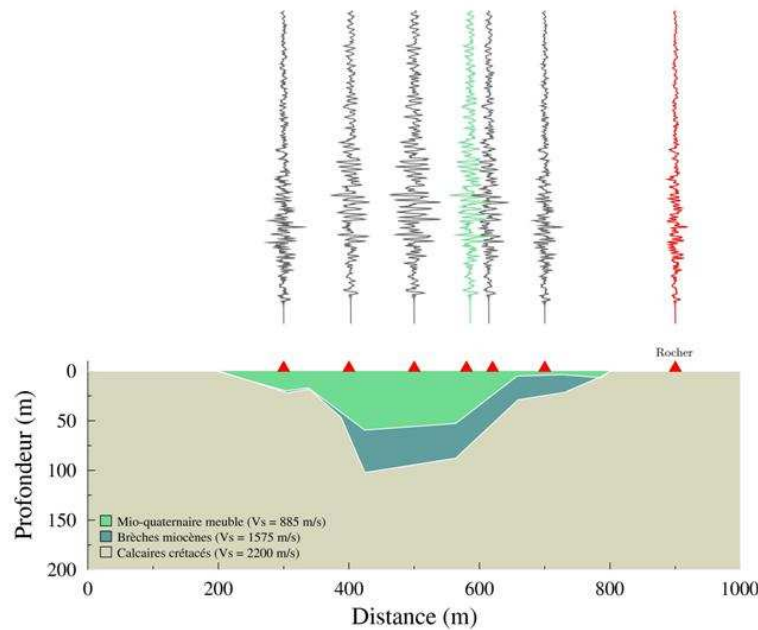
# Identification et caractérisation du potentiel sismogénique des sources sismiques



FPEC - Catalogue paramétrique des séismes historiques (Mw, profondeur, etc.)

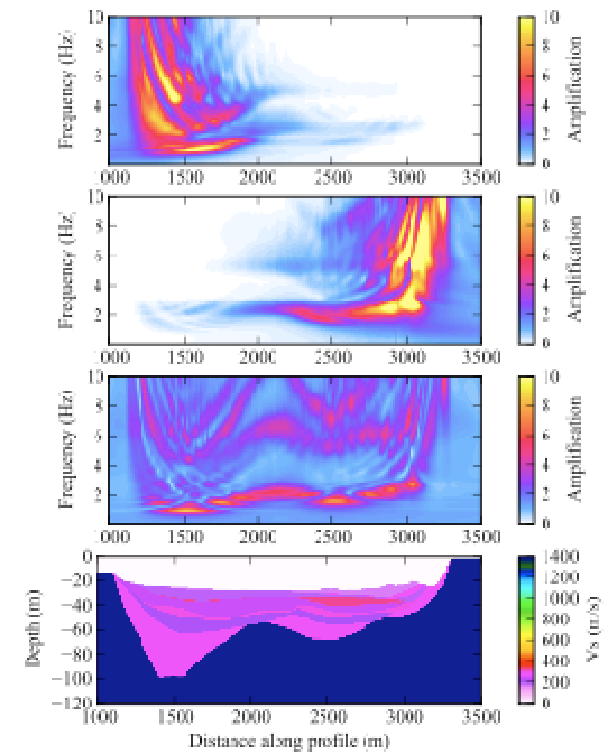


- Catalogues paramétriques des séismes pour la période historique et instrumentale (magnitude, profondeur, localisation, intensité épiscoptrale, incertitudes associées, etc.) – Homogénéisation et révision régulière ;
- Calcul des taux de sismicité (PSHA) – Révision des séismes de référence (DSHA) ;



Modélisation de la réponse des bassins sédimentaires sous séisme (PSV-2D – Rhéologie linéaire et non linéaire)

Conditions géologiques superficielles peuvent modifier significativement le mouvement sismique



- Prédiction du mouvement du sol pour site au rocher (DSHA / PSHA) ;
- Définir des stratégies pour tenir compte des conditions de sol adaptées au degré de connaissance du site ;
- Acquisition de données de mouvement du sol aux abords des INBs et sur des sites de référence ;

L'évaluation de l'aléa sismique nécessite de **caractériser les sources sismiques** (failles ou volume de croûte) et d'**évaluer la sévérité des secousses sismiques** qui pourraient affecter l'installation.

Cette évaluation doit reposer sur un **référentiel de connaissances** le plus à jour (géologie, sismologie, etc.) et se conformer à la « **meilleure pratique** » en matière d'analyse.

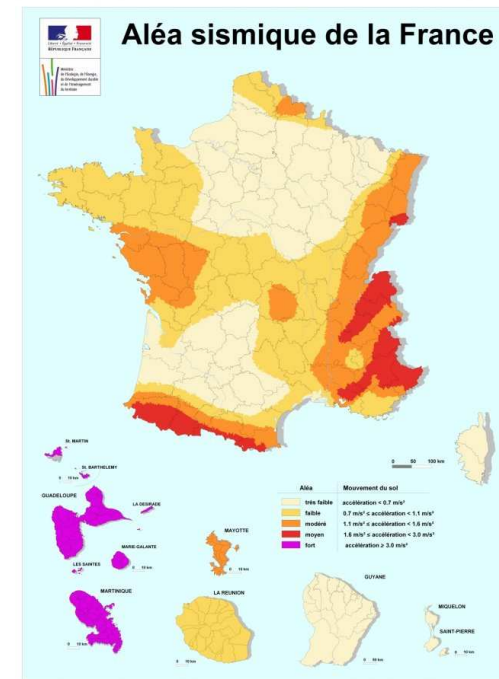
Il est nécessaire de **quantifier les incertitudes** à chaque étape du calcul de l'aléa pour **évaluer la robustesse** de l'évaluation retenue in fine par l'exploitant.

A la lumière 1) du retour d'expérience de l'application de la RFS 2001-01, 2) de l'amélioration des méthodes et des connaissances en sismologie et 3) de l'analyse de la pratique internationale, **trois axes d'amélioration de l'évaluation de l'aléa sismique** peuvent être identifiés :

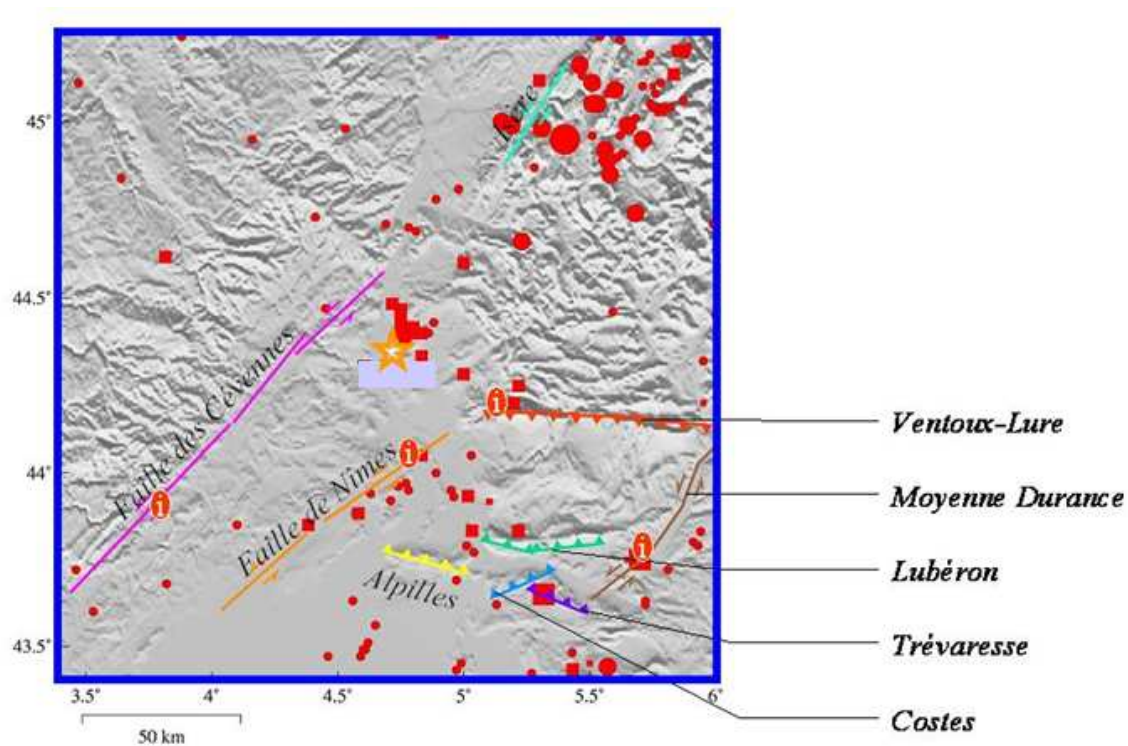
- 1 - Mettre en place des actions de recherche afin d'améliorer de manière continue le référentiel de connaissances, en particulier en identifiant les points les plus faibles de la démonstration ;
- 2 - Intégrer de manière explicite les incertitudes dans le calcul de l'aléa sismique, tant sur les données d'entrée que sur les méthodes ;
- 3 - Prendre en compte de la diversité des avis d'experts ;

Dans le cadre de l'audit complémentaire de sûreté, il s'agira notamment d'**évaluer les conclusions des exploitants à l'aune des incertitudes inhérentes à la détermination de l'aléa sismique** ;

- Tous les scénarii sismiques sont pris en compte au prorata de leur probabilité d'occurrence ;
- Formalisation de la prise en compte des incertitudes ; Prise en compte des avis multiples ;
- Approche complémentaire des approches déterministes ;



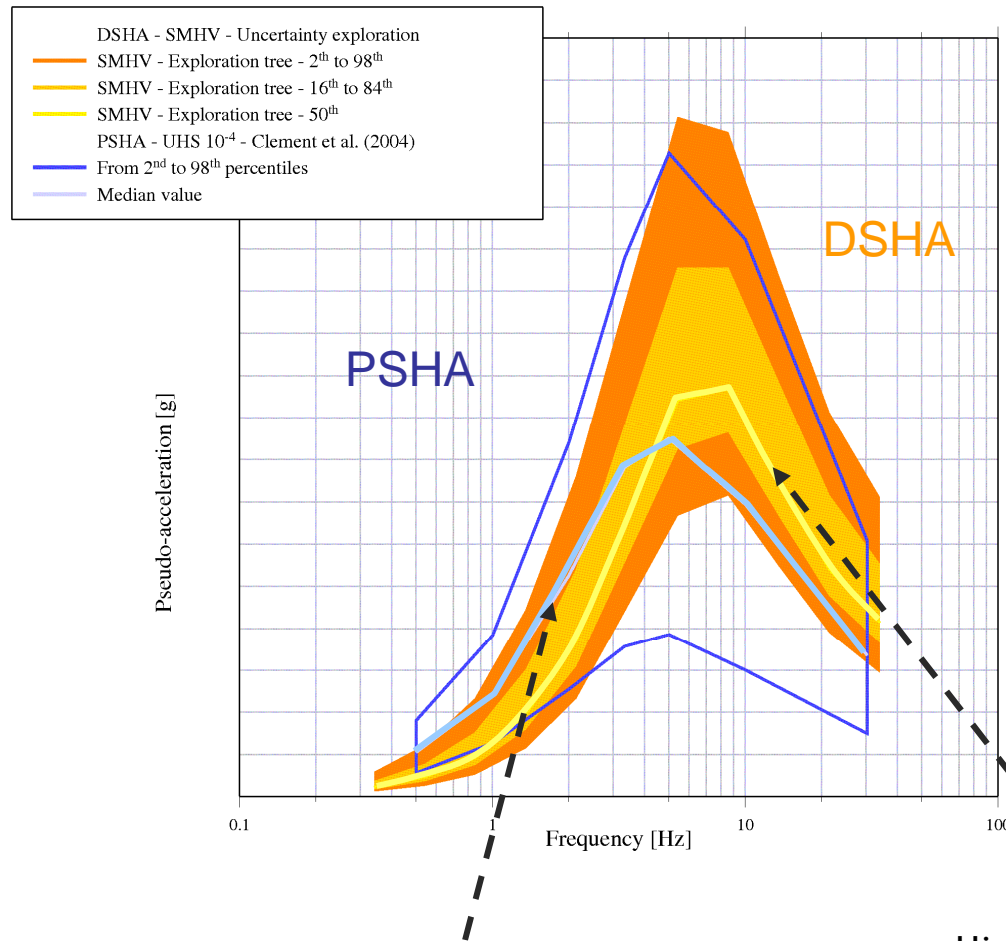
MEEDDM (2005)



- Données d'entrée EPS-séisme ;

- Exemple CNPE Tricastin ;





Low frequency content  
=  
Large EQ on the Cévennes fault

High frequency content  
=  
Local moderate EQ translated below the NPP

L'analyse des contributions des différents scénarios à l'aléa (déagrégation) permet d'identifier les différences entre DSHA & PSHA, ce qui peut aider dans le choix du spectre, ainsi que les sujets devant faire l'objet d'études complémentaires compte tenu de leur influence sur les prédictions

Baumont & Scotti (2008)

$$\text{Risque sismique} = \text{Aléa sismique} * \text{Vulnérabilité} * \text{Enjeu}$$

↙  
Mouvement  
du sol à  
considérer

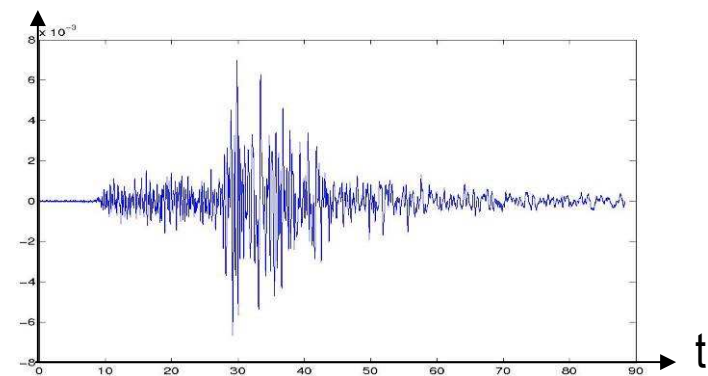
↙  
État du bâti  
(résistance  
de la  
construction)

↘  
Importance du bâti  
(centrale nucléaire,  
bâtiment public,  
habitation  
particulière, etc.)

INB : RFS 2001-01 & Guide ASN 02-01

Estimer l'aléa sismique en un site

Déterminer le mouvement du sol contre lequel  
se protéger



L'IRSN évalue, à la demande des autorités (ASN, ASND), les dossiers de sûreté de toutes les installations nucléaires sur le territoire national

