



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

ALÉA SISMIQUE EN ISÈRE

ALÉA, EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES ET PARASISMIQUES

Intervenants: Agathe Roullé – BRGM/DRP/RSV / Ségolène Naville – DDT38

Décembre 2023



Plan de la présentation

1. Qu'est-ce qu'un séisme? Comment caractériser un séisme ?
2. L'aléa et le risque sismique en Isère (et évaluation de l'aléa local)
3. Le zonage réglementaire et les règles parasismiques
4. Les conséquences potentielles sur les bâtiments et les infrastructures

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ?

Le phénomène

Quelques définitions et notions de base

Sismologie

Science des tremblements de terre qui se propose d'étudier :

- le **phénomène** séisme lui-même : causes, mécanismes, répartition, prévention et prévision
- les **ondes émises** : signaux dont la déformation au cours de la propagation nous renseigne sur la structure interne du globe

Séismes et failles

Un séisme est un **mouvement naturel** du sol qui débute **brusquement** (rupture brutale) et dure peu (quelques secondes à quelques minutes). Il existe différents types de séismes : tectoniques, volcaniques, d'effondrement, artificiels, induits

Un séisme est pratiquement toujours suivi d'une série de séismes moins forts que l'on appelle des **répliques**.

Parfois, un gros séisme peut être précédé par des séismes moins importants quelques heures voire quelques jours avant. On parle alors de **précurseurs**.

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ?

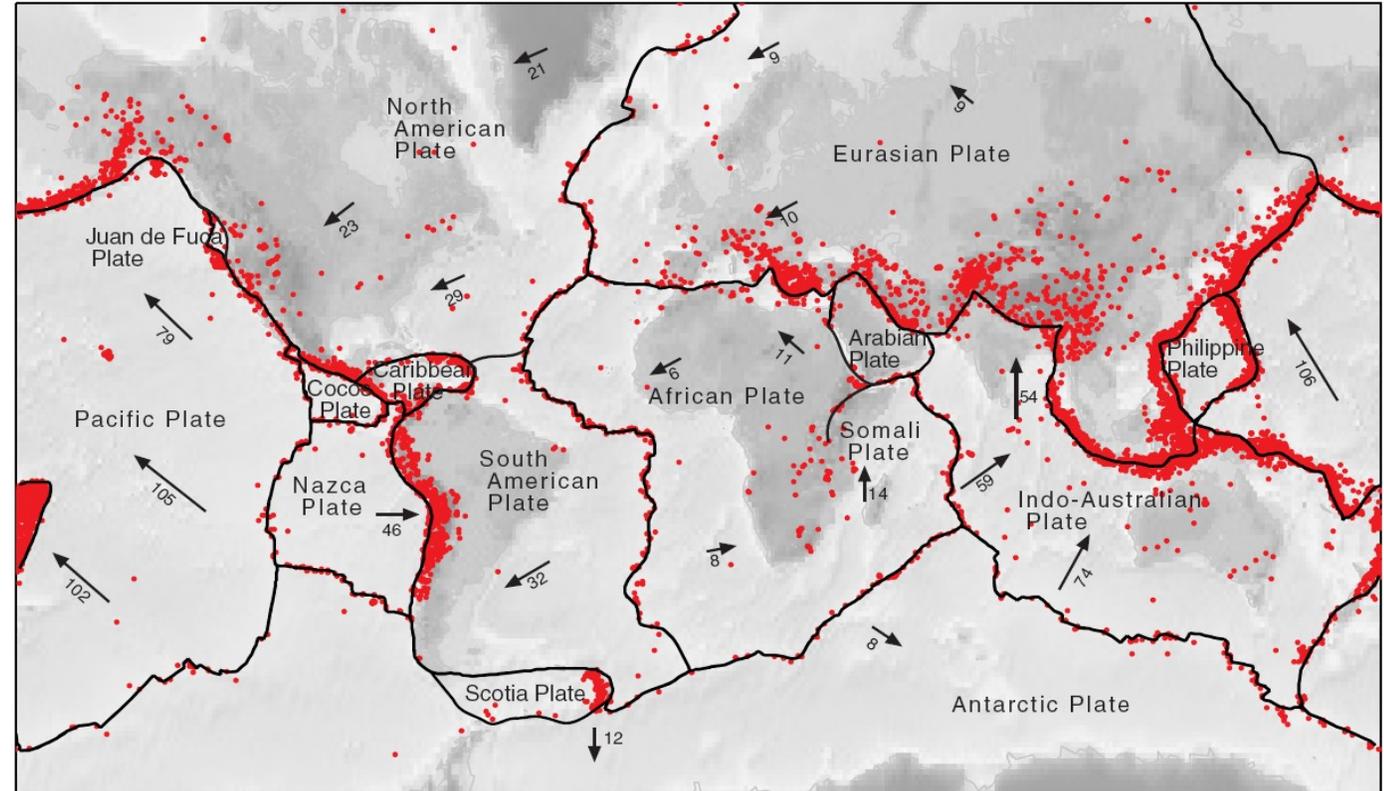
Le phénomène

Quelques définitions et notions de base

Séismes et plaques tectoniques

Les séismes tectoniques sont liés **au rejeu d'une faille pré-existante** ou à **la création d'une nouvelle faille**.

Ils se produisent essentiellement aux frontières des plaques lithosphériques



IRIS Consortium, USGS et Princeton University

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ?

Le phénomène

Quelques définitions et notions de base

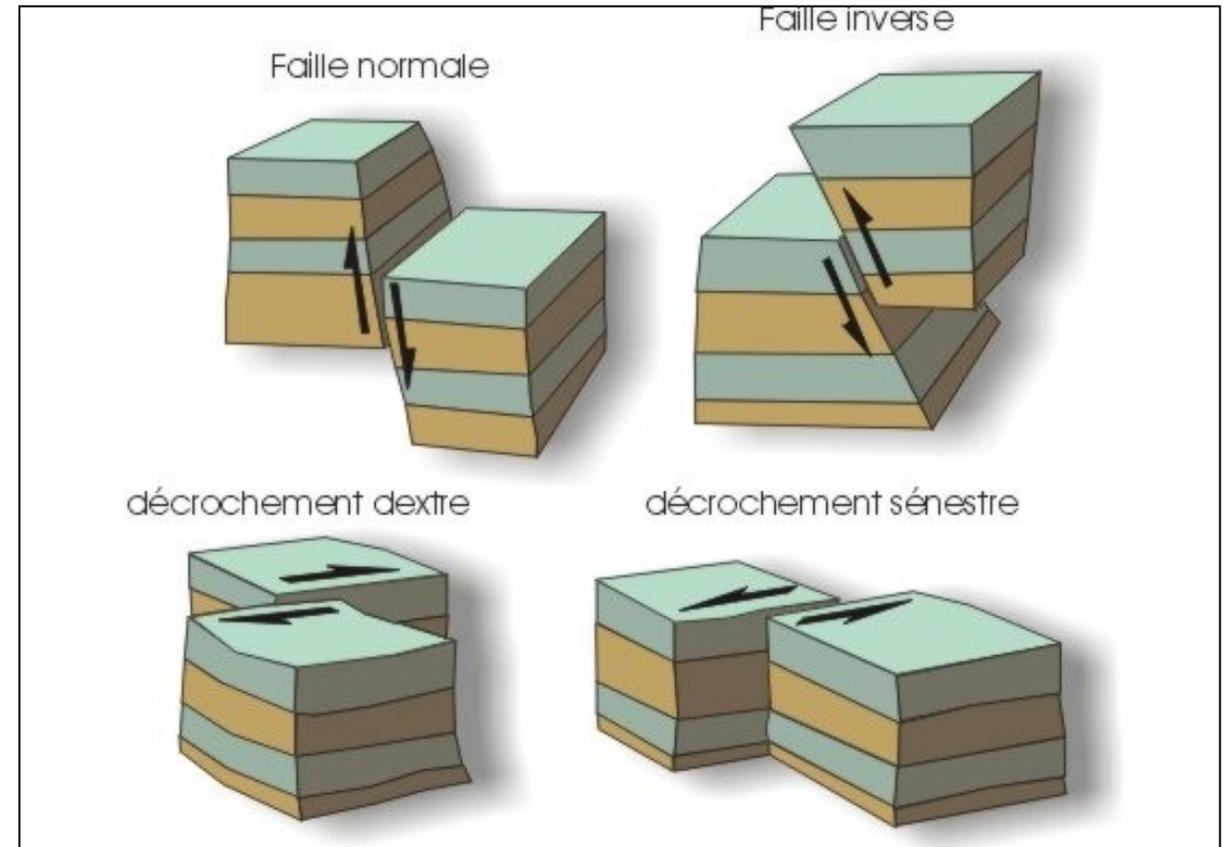
Séismes et failles

On distingue 3 mouvements de faille principaux :

- faille normale
- faille inverse
- faille de coulissage (ou décrochement)

Ce mouvement (ou jeu) de la faille est caractérisé par l'orientation du vecteur déplacement.

Le déplacement peut se décomposer en un déplacement vertical (rejet) et un déplacement horizontal (coulissage).



Source : Université de Liège - Dejonghe (1998)

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ?

Le phénomène

Quelques définitions et notions de base

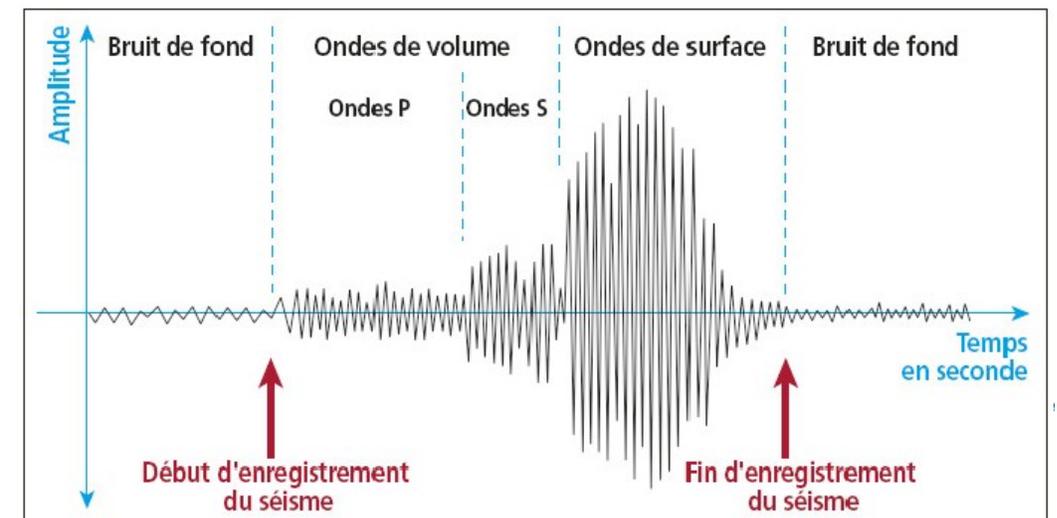
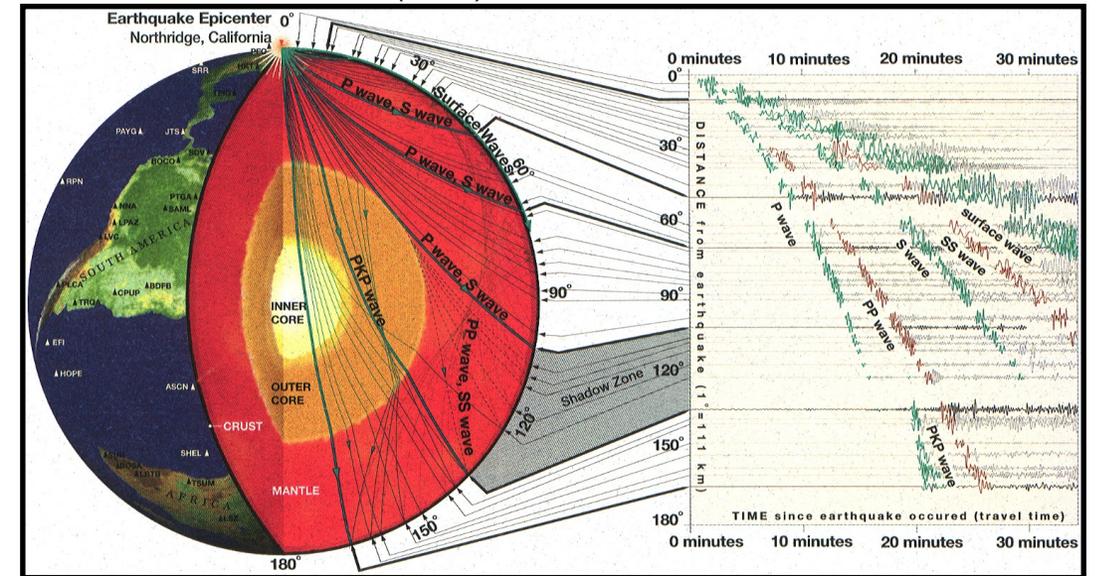
Séismes et mouvement sismique

L'énergie libérée par la rupture de la faille en profondeur se propage sous forme d'ondes élastiques dans le sol.

Le mouvement du sol se mesure par les déplacements, la vitesse ou l'accélération.

L'étude des enregistrements des stations sismologiques permet de caractériser le séisme : localisation de la rupture, taille, énergie libérée, et la nature du mouvement du sol au point de mesure.

Source : Hennet et Braile, (1998), IRIS

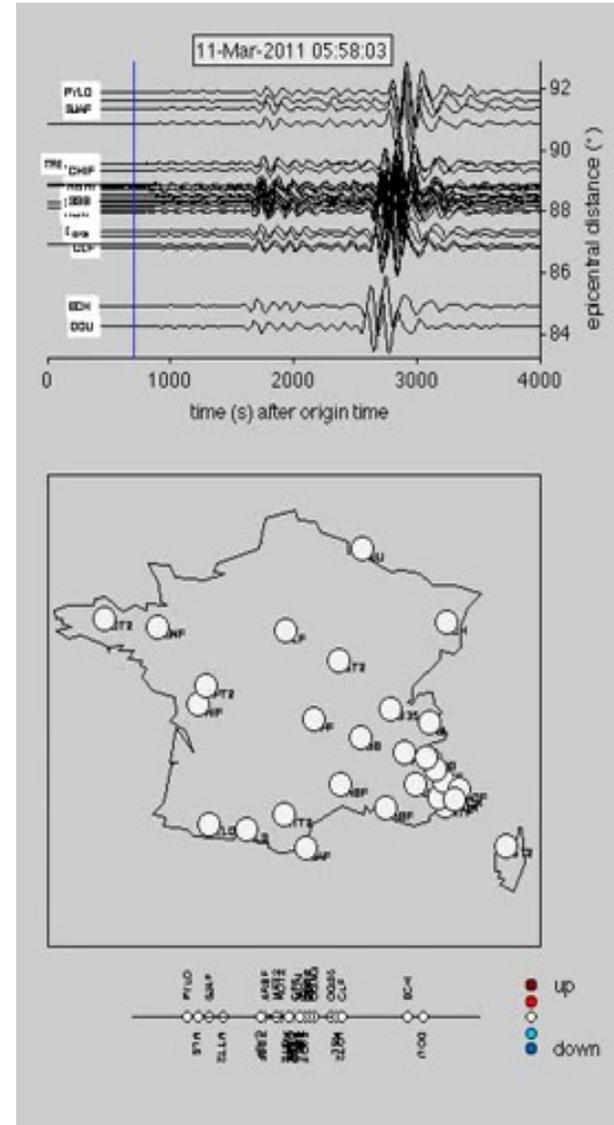


Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ?

Le phénomène

Quelques définitions et notions de base

Illustration du mouvement sismique



Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

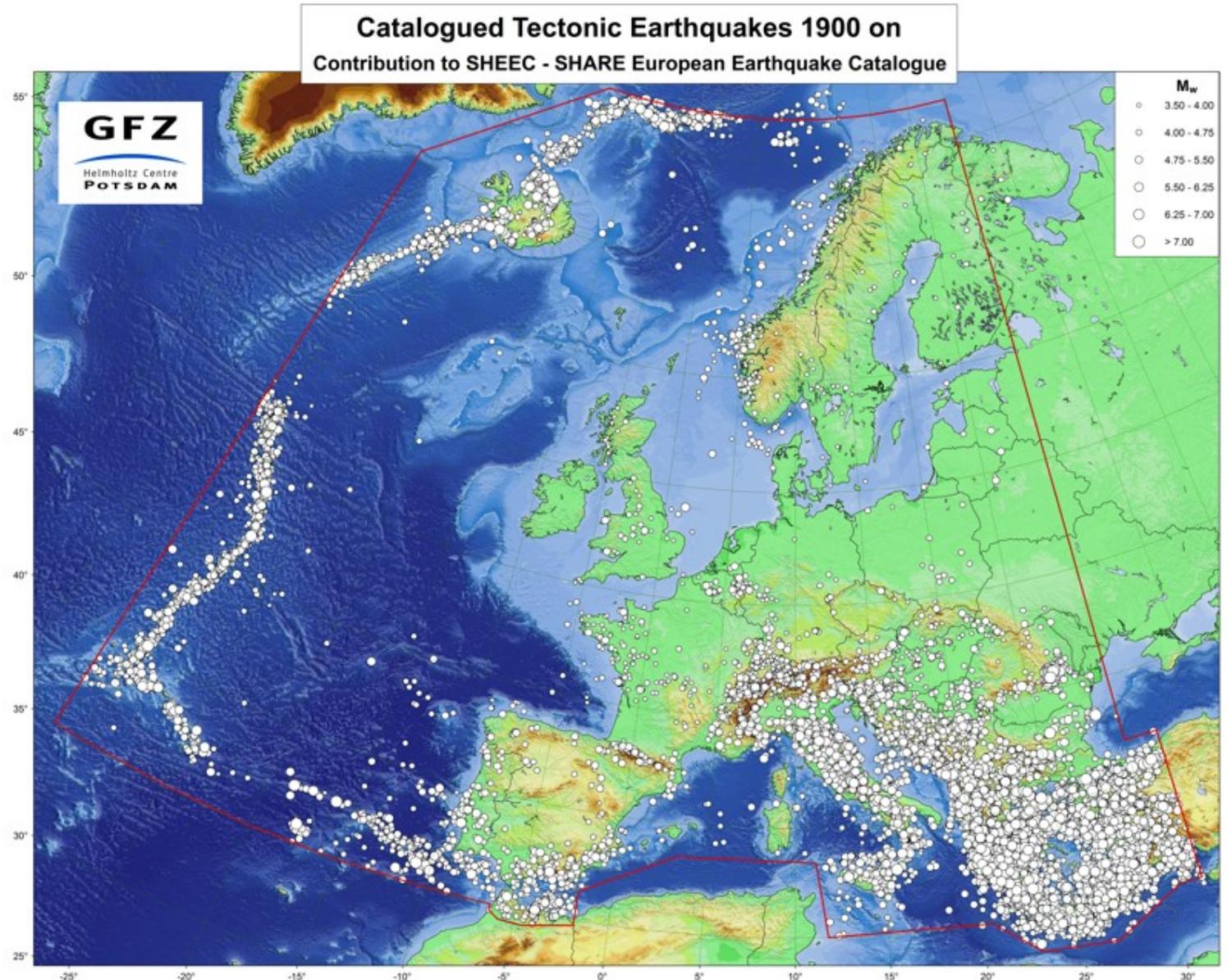
Le phénomène

Catalogue sismique européen

Sismicité mondiale

~20 séismes de magnitude supérieure à 8.5 depuis 1900

~200 séismes de magnitude supérieure à 6 chaque année



Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Le phénomène

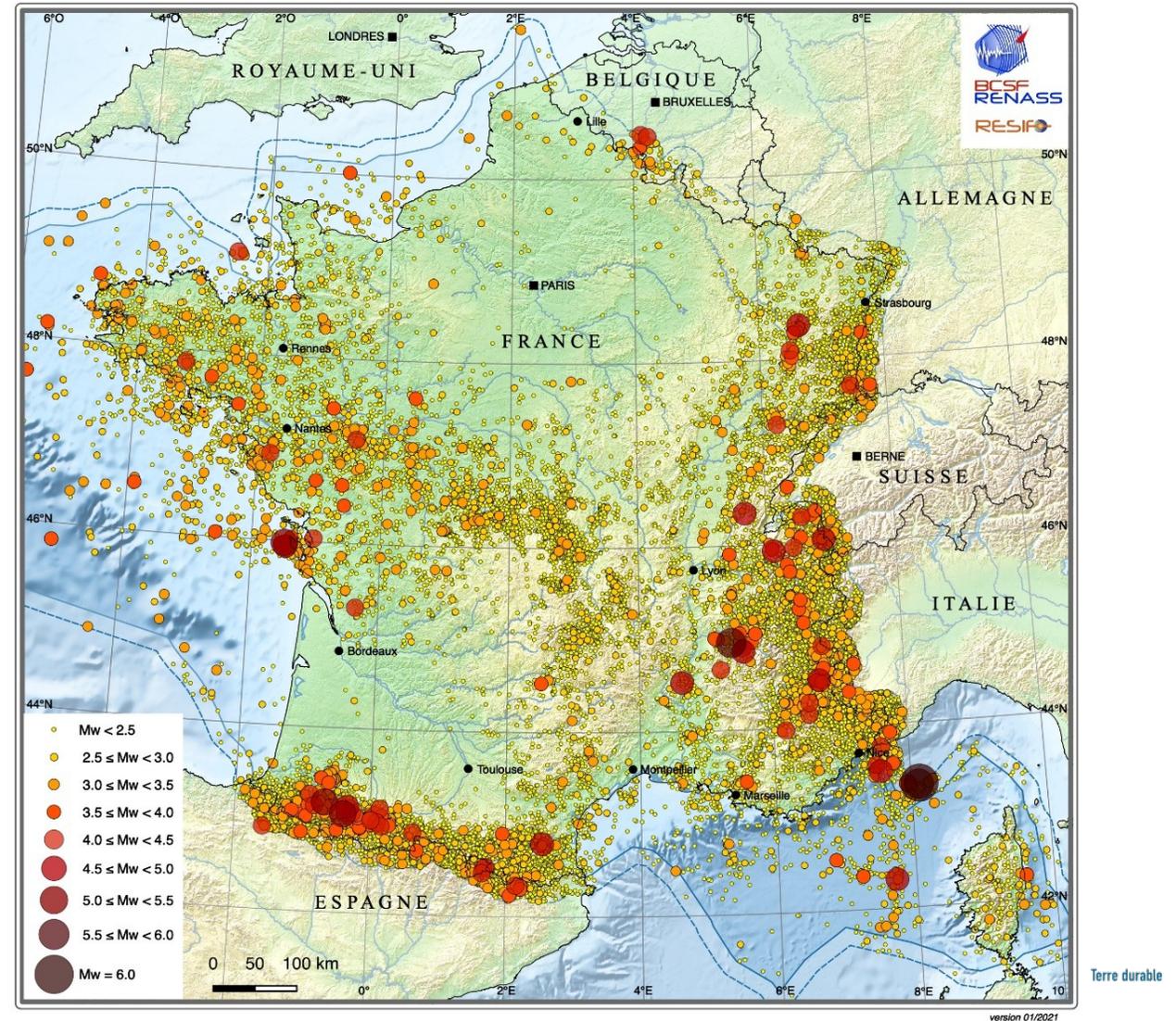
La sismicité instrumentale en France hexagonale

Surveillance sismique du territoire assurée par le réseau sismologique Epos France

Alerte sismique assurée par le CEA



Sismicité Instrumentale de la France métropolitaine 1962-2020



Epicentres des séismes d'origine naturelle dans la zone SI-Hex (France métropolitaine et zone économique exclusive en mer (ZEE), avec élargissement de 20 km). Catalogues de sismicité utilisés : sur la période 1962-2009 le catalogue issu du projet SI-Hex (Cara et al. 2015, <http://www.franceseisme.fr>), sur la période 2010-2020 le catalogue BCSF-RéNaSS, pour lequel la magnitude M_L a été convertie en M_w .

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Caractéristiques d'un séisme

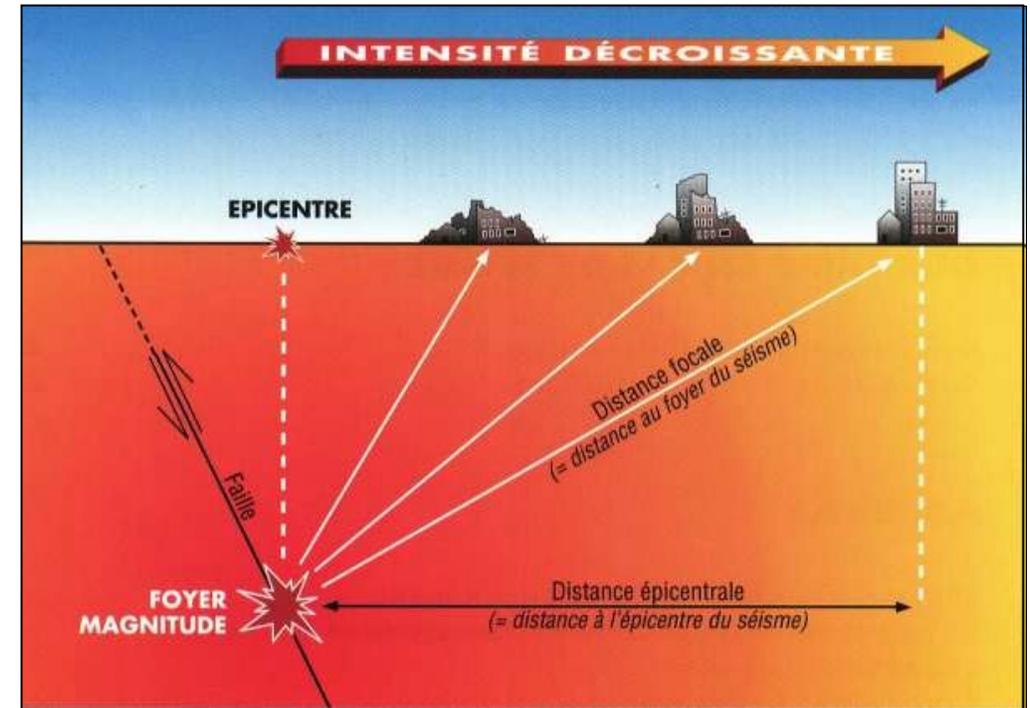
Les caractéristiques d'un séisme

Foyer et épicentre

Foyer F (ou hypocentre) : endroit où s'initie la rupture sur la faille. L'énergie libérée se propage à partir du foyer dans toutes les directions sous forme d'ondes sismiques.

Epicentre E : point de la surface de la Terre le plus proche du foyer F.
C'est généralement l'endroit où le tremblement de terre est ressenti en premier et où il est le plus intense.

Un séisme est d'autant plus impactant en surface que le foyer est superficiel et que l'énergie libérée est grande.



Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Caractéristiques des séismes

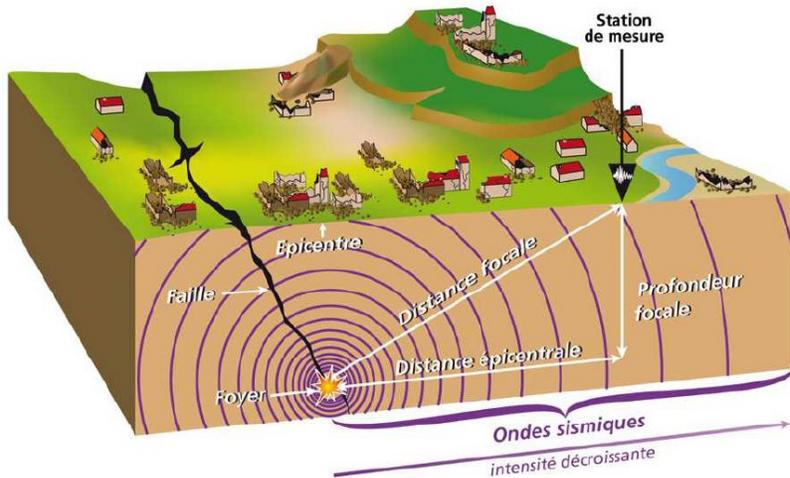
Distinguer magnitude et intensité

Magnitude

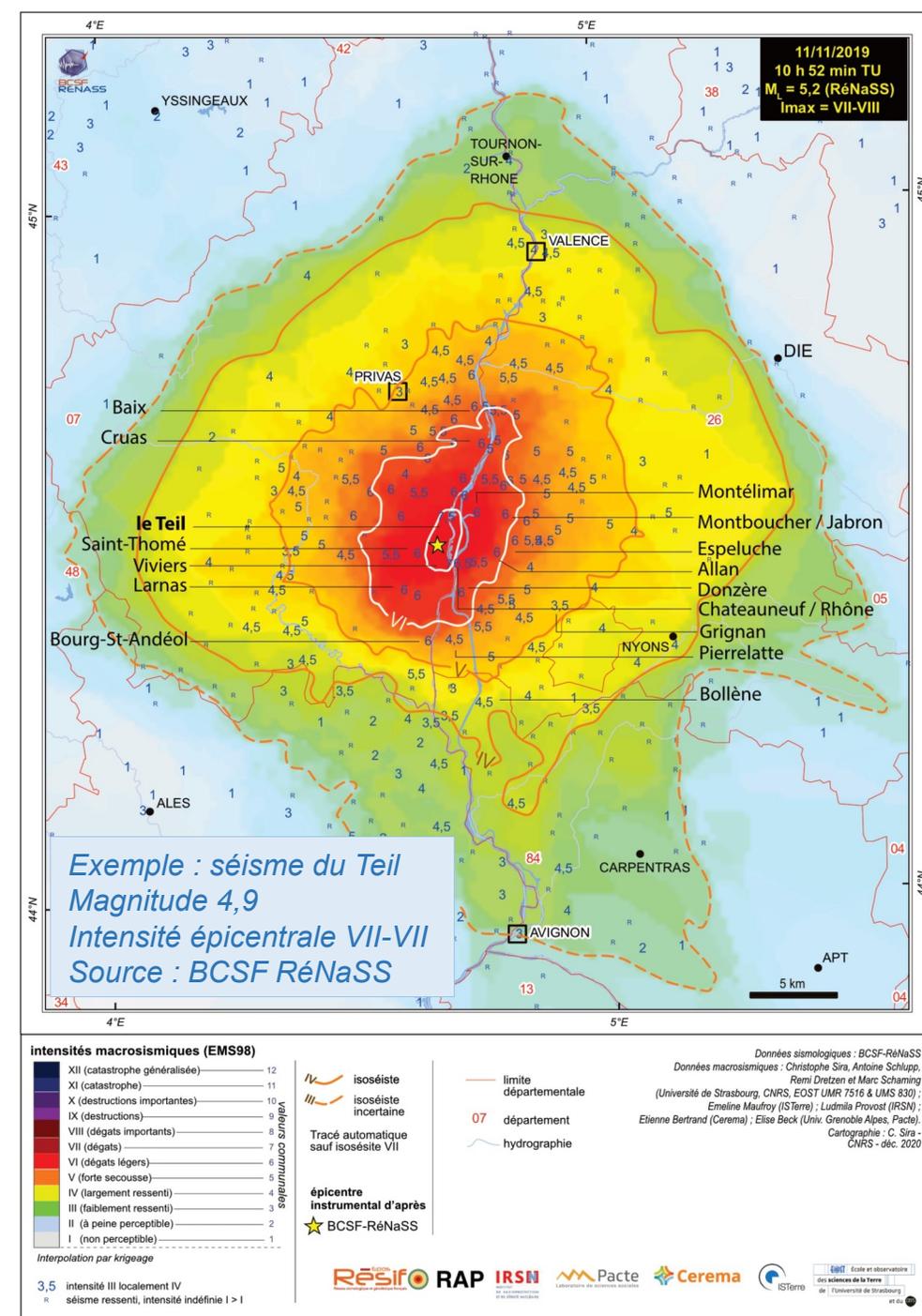
- **Energie** libérée par le séisme au point de rupture

Intensité

- **Effet ressenti** en surface en un point donné



Source AFPS, que nous apprennent les séismes passés



Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Caractéristiques des séismes

Distinguer magnitude et intensité

Magnitude

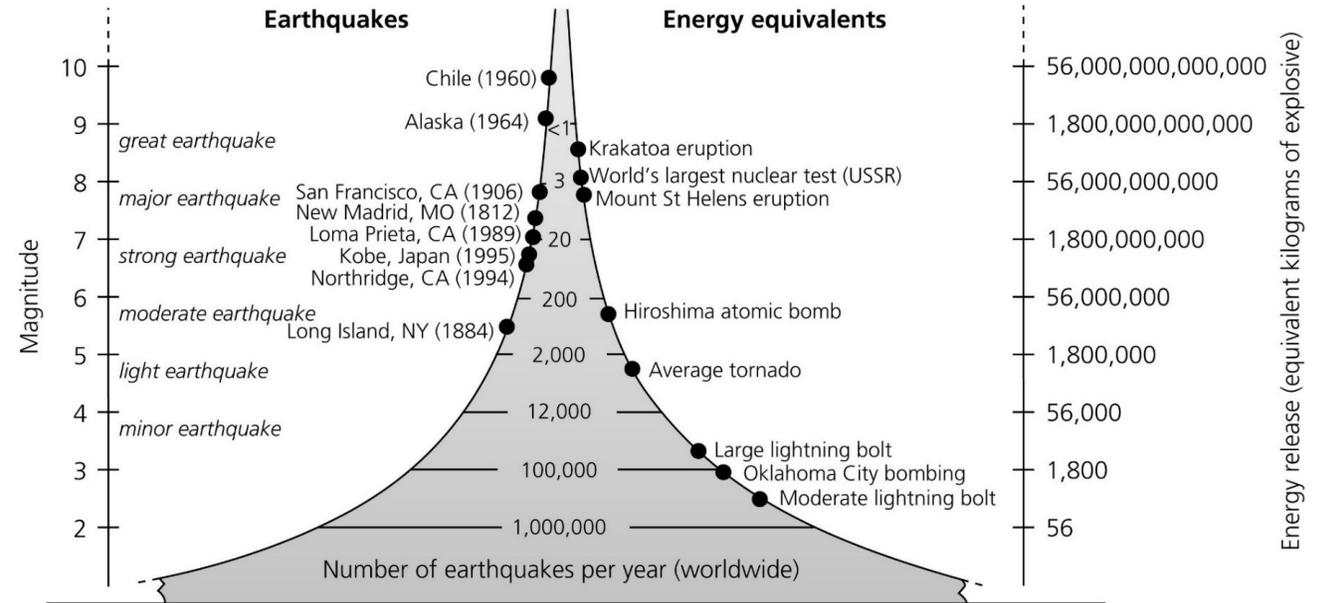
- **Energie libérée** par le séisme au point de rupture

Elle est calculée à partir des données enregistrées par les sismomètres.

Il existe différentes magnitudes

Quelques séismes marquants :

Chili, 1960, M= 9,5
 Chine, 2008, M = 8,0 (Sichuan)
 Italie, 2009, M = 6,3 (L'Aquila)
 Japon, Tohoku, 2011, M=9,1
 Lambesc 1909, M # 6,2
 Le Teil, 2019, M= 4,9
 La Laigne, 2023, M=4,9
 Maroc, 2023, M=6,7



Magnitude	Energie libérée	Durée de la rupture	Valeur moyenne du rejet	Longueur moyenne du coulissage	Nombre de séismes par an dans le monde (ordre de grandeur)
9	$E \times 30^5$	250 s	8 m	800 km	1 tous les 10 ans
8	$E \times 30^4$	85 s	5 m	250 km	1
7	$E \times 30^3$	15 s	1 m	50 km	10
6	$E \times 30^2$	3 s	20 cm	10 km	100
5	$E \times 30$	1 s	5 cm	3 km	1 000
4	E	0,3 s	2 cm	1 km	10 000
3	$E / 30$				> 100 000
2	$E / 30^2$				
1	$E / 30^3$				

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Caractéristiques des séismes

Distinguer magnitude et intensité

Intensité

- **Effet ressenti** en surface en un point donné

L'intensité mesure la sévérité de la secousse au sol en étudiant les dégâts et la vulnérabilité du bâti, ainsi que le ressenti de la population. Elle est estimée de façon qualitative.

Il existe différentes intensités

EMS-98 Intensité	Ressenti	Effets	Magnitude (Approximation)	Dégâts des bâtiments (Maçonnerie)
I	Non ressenti	Non ressenti	2	
II-III	Faible	Ressenti à l'intérieur des habitations par quelques personnes. Les personnes au repos ressentent une vibration ou un léger tremblement.	3	
IV	Léger	Ressenti à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes, à l'extérieur par très peu. Quelques personnes sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle vibrent.	4	
V	Modéré	Ressenti à l'intérieur des habitations par la plupart, à l'extérieur par quelques personnes. De nombreux dormeurs se réveillent. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans leur ensemble. Les objets suspendus se balancent fortement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent ou se ferment.	5	
VI	Fort	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Chute d'objets. De nombreuses maisons subissent des dégâts non structuraux comme de très fines fissures et des chutes de petits morceaux de plâtre.	6	
VII	Très fort	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Les meubles se déplacent et beaucoup d'objets tombent des étagères. De nombreuses maisons ordinaires bien construites subissent des dégâts modérés: petites fissures dans les murs, chutes de plâtres, chutes de parties de cheminées; des bâtiments plus anciens peuvent présenter de larges fissures dans les murs et la défaillance des cloisons de remplissage.	7	
VIII	Violent	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à rester debout. Beaucoup de maisons ont de larges fissures dans les murs. Quelques bâtiments ordinaires bien construits présentent des défaillances sérieuses des murs, tandis que des structures anciennes peu solides peuvent s'écrouler.	8	
IX	Très violent	Panique générale. De nombreuses constructions peu solides s'écroulent. Même des bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants: défaillances sérieuses des murs et effondrement structural partiel.	9	
X+	Extrême	La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent, même ceux ayant une bonne conception parasismique sont détruits.	10	

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Caractéristiques des séismes

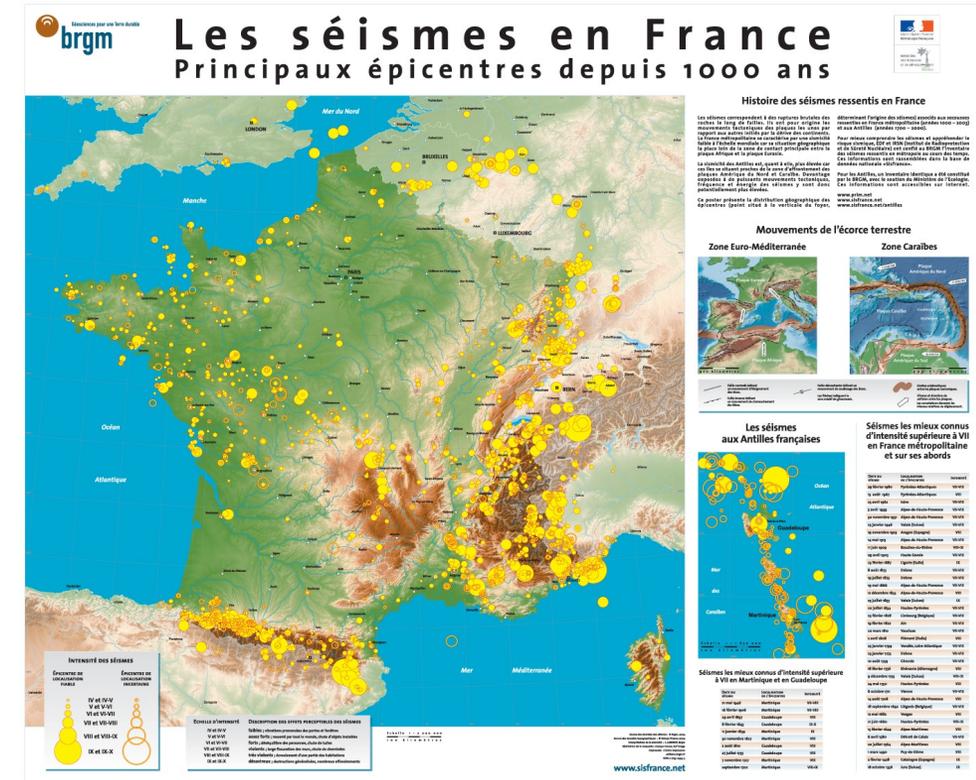
Quelques séismes de référence en France

Depuis la fin du Moyen-Age, plus d'une trentaine de séismes d'intensité supérieure ou égale à VII et quatre séismes d'intensité supérieure ou égale à VIII

En moyenne, on recense deux à trois séismes destructeurs par siècle, un séisme de magnitude 5 tous les 15-20 ans et quelques événements de magnitude supérieure à 4 tous les ans

AVANT 1900		
DATE	INTENSITE	REGION
18/10/1356	IX	Bâle
02/02/1428	IX	Catalogne
21/06/1660	VIII-IX	Bagnères-de-Bigorre
23/02/1887	IX	Ligurie

APRES 1900		
DATE	INTENSITE	REGION
11/06/1909	VIII-IX	Lambesc
19/11/1923	VIII	Bagnères-de-Luchon
13/08/1967	VIII	Arette
21/11/2004	VIII	Les Saintes
11/11/2019	VII-VIII	Le Teil
16/06/2023	VII	La Laigne



Ainsi, dans les zones sismiques, tous les bâtiments construits seront obligatoirement un jour confrontés à un séisme fort

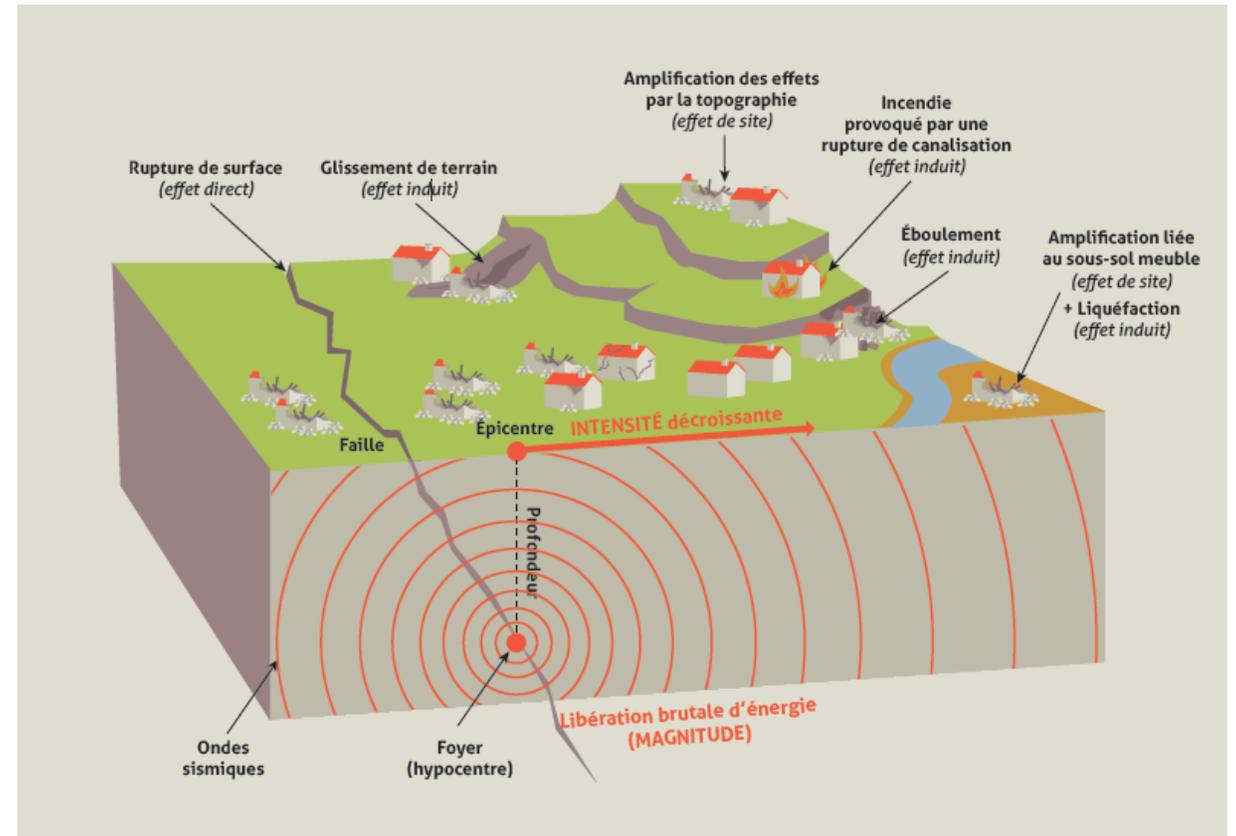
Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Les effets d'un séisme

Les séismes peuvent engendrer des effets locaux particuliers

- ▶ **Les effets directs** résultent de la rupture le long de la faille et de la propagation des ondes. Les ondes peuvent être amplifiées avec la topographie et/ou la nature du sous-sol (sols meubles, pointement rocheux). On parle d'**effets de site**.
- ▶ **Les effets indirects** résultent de la conséquence de la propagation des ondes, pouvant engendrer d'autres phénomènes : éboulements, avalanches, tsunamis, glissements de terrains, ou encore les incendies liés à des ruptures de canalisations. On parle d'**effets induits**.

Source : C-PRIM, Comprendre l'origine du parasismique (MTECT/C-PRIM/AFPS)

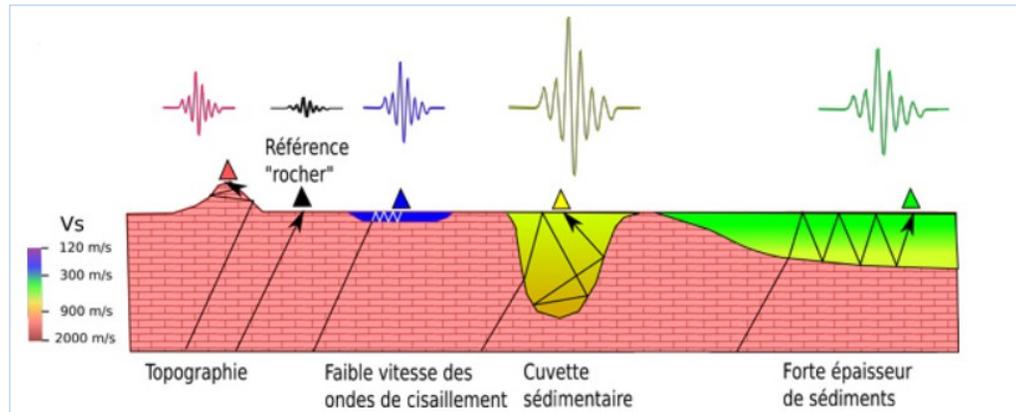


Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Effets de site

Le mouvement sismique est influencé par les conditions locales

Zoom sur les effets de site liés à la géologie



Configurations types responsables des effets de site. Source : IRSN

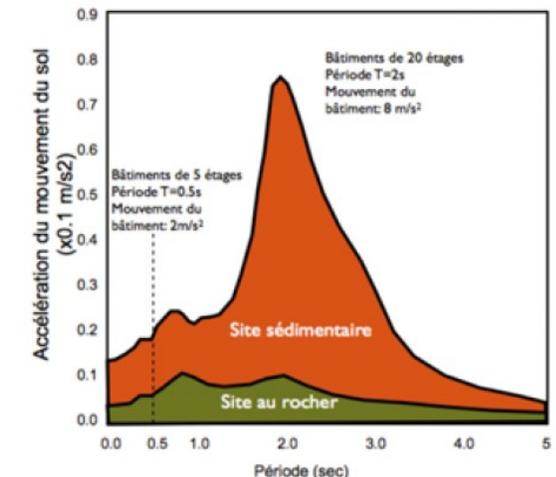
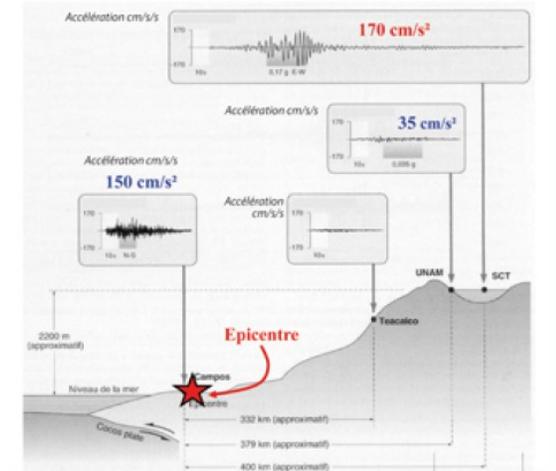
► La hauteur des bâtiments doit aussi être étudiée afin d'éviter le phénomène de résonance entre la période dominante des ondes sismiques et celle du bâtiment.

Source : C-PRIM, Comprendre l'origine du parasismique (MTECT/C-PRIM/AFPS)

Séisme de Mexico (Mexique) du 19 septembre 1985

Un cas d'école en matière d'effets de site et de résonance

Evolution de l'accélération en fonction de la distance à l'épicentre témoignant d'une amplification significative dans la cuvette sédimentaire de Mexico (source : Pierre Mouroux)



Amplification du mouvement du sol lors du tremblement de terre de Mexico (1985) (source : Institut des Sciences de la Terre - Grenoble)

Source AFPS, que nous apprennent les séismes passés

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Les effets d'un séisme

Les séismes peuvent engendrer des effets locaux particuliers : spécificité du risque NaTech

Caractéristiques des risques NaTech :

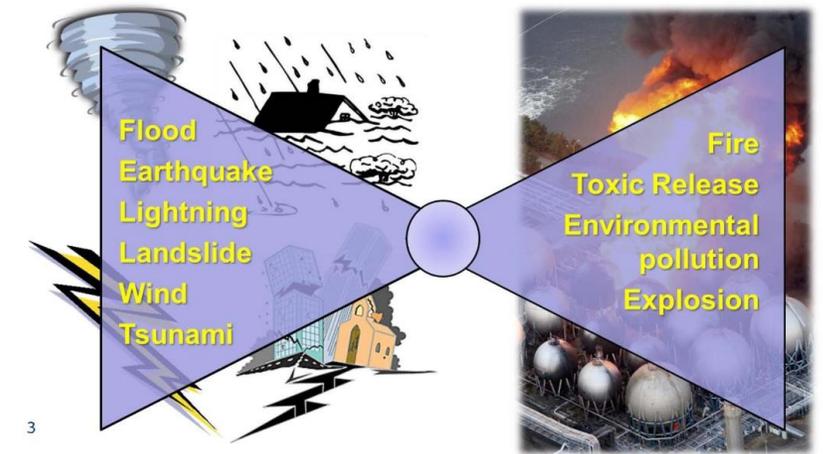
- Effets simultanés d'une ou plusieurs sources sur une zone étendue
- Indisponibilité des réseaux vitaux indispensables au traitement de l'accident (eau, énergie)
- Compétition entre les ressources de sauvetage (réponses simultanées à la catastrophe naturelle et technologique)
- Effets nécessitant des réponses d'urgence
- Mesures de protections habituelles non opérationnelles ou insuffisantes.

=> nécessité d'études multi-disciplinaires et qui dépassent les clivages habituels

=> Des études complètes commencent à être produites en R&D (guides pipelines, ...)

Natural Hazard Triggered Technological Accidents

Accidents involving **hazardous-materials** caused by **natural hazards**



Bloomberg

Japanese Quake Forces Evacuation Near Nuclear Reactor; Oil Refinery Burns

Partie 1 – Qu'est-ce qu'un séisme ? Comment le caractériser ?

Synthèse

Qu'est-ce qu'un séisme ?

Un séisme c'est :

Une fracturation des roches :

- en profondeur
- le long d'une faille

Libération soudaine d'énergie :

propagation d'ondes sismiques

⇒ vibration du sol en surface

Un séisme se caractérise par :

- Sa localisation (épicentre, foyer)
- Son type de rupture
- Sa magnitude
- Son intensité
- Ses effets (directs, de site ou induits)

Deux grandeurs clefs

La magnitude :

- mesure l'énergie au point de rupture
- relative à la taille de la source sismique
- ne varie pas quand on s'éloigne de l'épicentre

L'intensité

- définie par l'importance des effets en un point donné de la surface
- diminue quand on s'éloigne de l'épicentre

Les effets potentiels d'un séisme

- Effets directs : rupture de faille, mouvement sismique
- Effets de site : effets aggravants liés à la géologie et au relief
- Effets induits : glissements de terrain, chutes de blocs, liquéfaction, tsunami, etc...

Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

Définitions

De l'aléa au risque sismique

Aléa

Probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période données, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages.

Enjeux

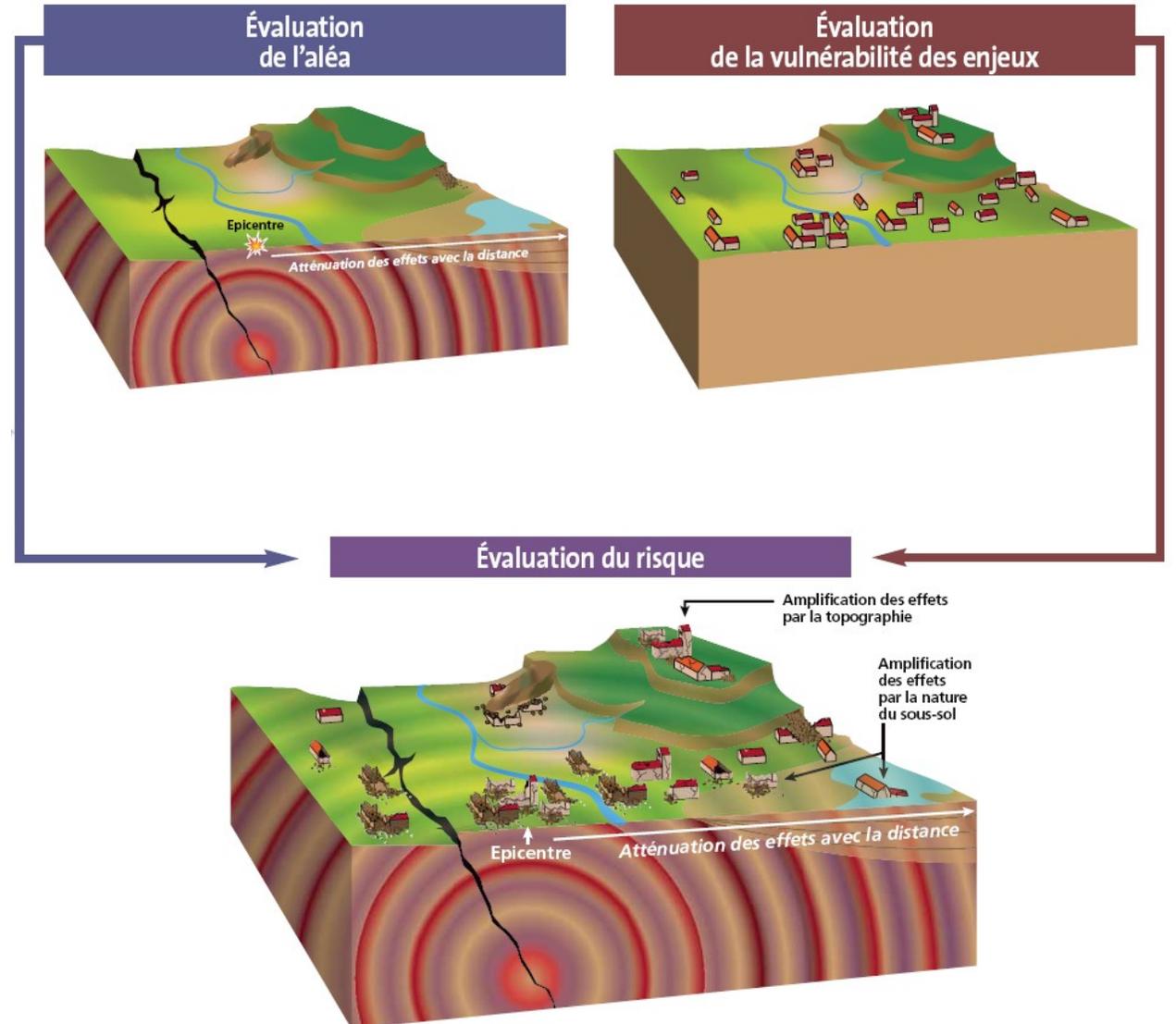
Ensemble des personnes (densité de population) et des biens (valeur économique, fonctionnelle, patrimoniale) susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel

Vulnérabilité

Degré de perte résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels. Elle correspond à la fragilité des enjeux. On distingue la vulnérabilité humaine et économique.

Risque

Le risque résulte du croisement entre l'aléa et la vulnérabilité des enjeux



Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

De l'aléa au risque

Contexte sismotectonique général



Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

De l'aléa au risque

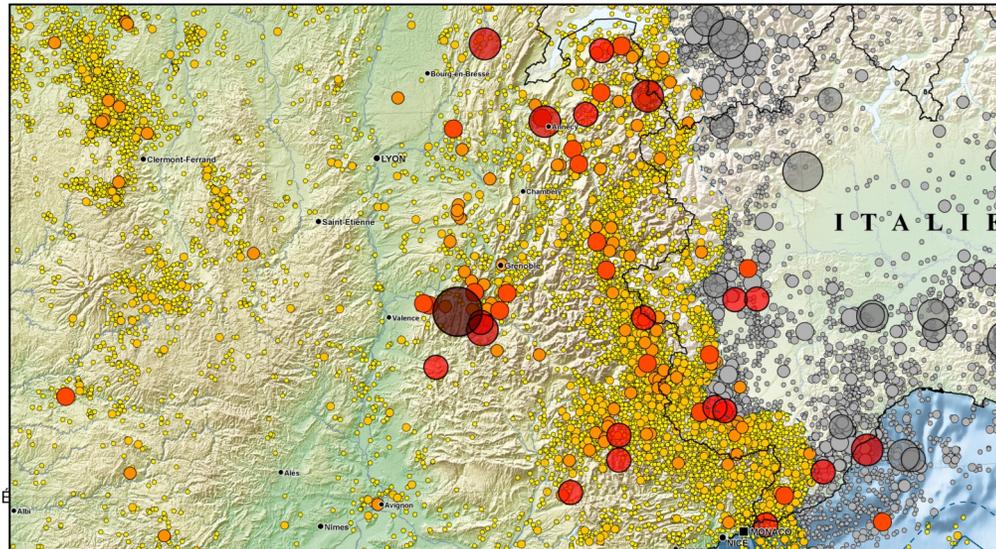
Sismicité

En France, ce sont les Antilles que l'aléa est le plus fort.

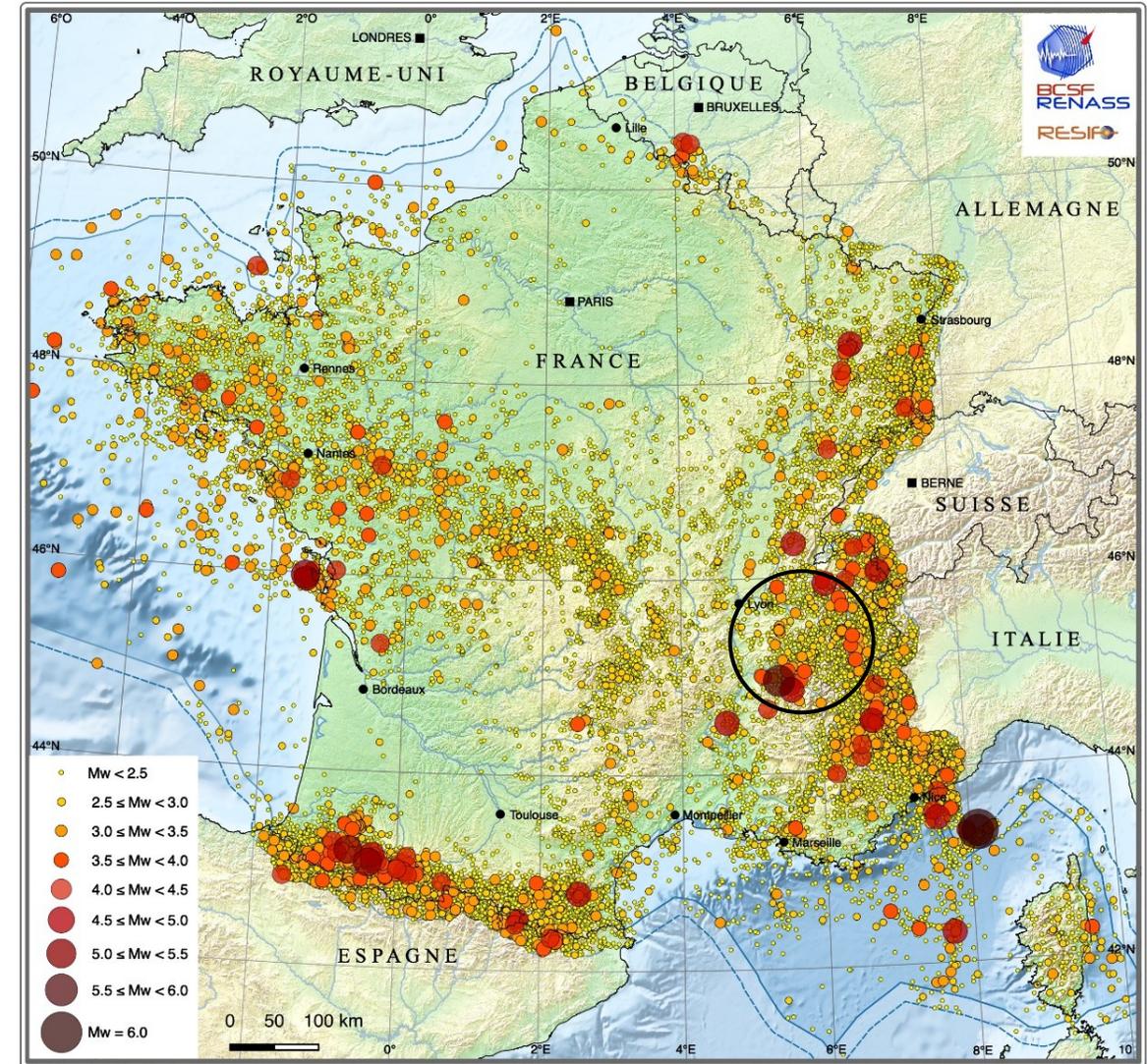
Dans l'hexagone, plusieurs zones de sismicité importantes sont identifiées :

- Les Pyrénées
- La Provence
- Les Alpes
- L'Alsace

Sismicité instrumentale, zoom sur les Alpes, source BCSF-RéNass



Sismicité Instrumentale de la France métropolitaine 1962-2020



version 01/2021
Epicentres des séismes d'origine naturelle dans la zone SI-Hex (France métropolitaine et zone économique exclusive en mer (ZEE), avec élargissement de 20 km). Catalogues de sismicité utilisés : sur la période 1962-2009 le catalogue issu du projet SI-Hex (Cara et al. 2015, <http://www.franceseisme.fr>), sur la période 2010-2020 le catalogue BCSF-RéNass, pour lequel la magnitude M_L a été convertie en M_w.

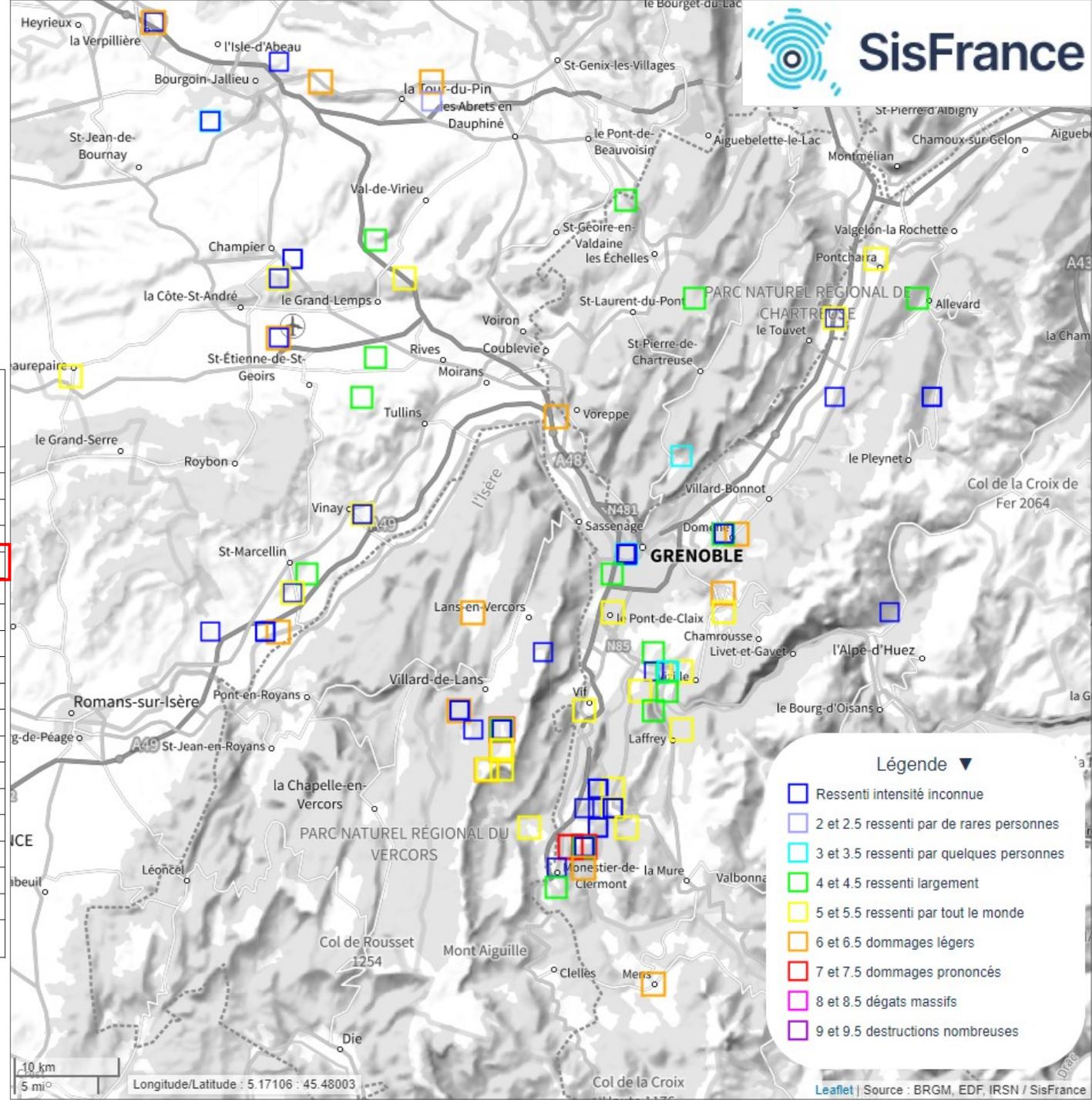
Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

De l'aléa au risque

Sismicité historique

année	mois	jour	appellation	département	intensité épicentrale	longitude	latitude
1773	1	23	TRICASTIN (CLANSAYES)	26	VII-VIII	4°48'	44°22'
1822	2	19	BUGEY (BELLEY)	1	VII-VIII	5°49'	45°49'
1873	7	19	TRICASTIN (CHATEAUNEUF-DU-RHONE)	26	VII-VIII	4°43'	44°29'
1873	8	8	TRICASTIN (CHATEAUNEUF-DU-RHONE)	26	VII-VIII	4°45'	44°27'
1962	4	25	VERCORS (CORRENCON-EN-VERCORS)	38	VII-VIII	5°34'	45°00'
1817	3	11	MASSIF DU MONT-BLANC (CHAMONIX)	74	VII	6°50'	45°54'
1839	8	11	AVANT-PAYS SAVOYARD (ANNECY)	74	VII	6°08'	45°54'
1877	10	8	FAUCIGNY (LA ROCHE-SUR-FORON)	74	VII	6°19'	46°04'
1879	12	30	CHABLAIS (ST-JEAN-D'AULPS)	74	VII	6°39'	46°12'
1881	7	22	BELLEDONNE-PELVOUX	73	VII	6°16'	45°19'
1901	5	13	BAS-PLATEAUX DAUPHINOIS (MANAS)	26	VII	5°00'	44°36'
1905	8	13	MASSIF DU MONT-BLANC (CHAMONIX)	74	VII	7°01'	45°59'
1934	5	12	TRICASTIN (VALAURIE)	26	VII	4°47'	44°24'
1936	4	17	AVANT-PAYS SAVOYARD (FRANGY)	74	VII	5°56'	46°03'
1952	6	8	BARONNIES (PIERRELONGUE)	26	VII	5°13'	44°15'
1963	4	25	VERCORS (MONTEYNARD)	38	VII	5°40'	44°56'
1963	4	27	VERCORS (MONTEYNARD)	38	VII	5°39'	44°56'
1968	8	19	CHABLAIS (ABONDANCE)	74	VII	6°46'	46°18'
1996	7	15	AVANT-PAYS SAVOYARD (EPAGNY-ANNECY)	74	VII	6°05'	45°55'

Sismicité historique sur les Alpes, source SisFrance (BRGM/EDF/IRSN)



Légende

- Ressenti intensité inconnue
- 2 et 2.5 ressenti par de rares personnes
- 3 et 3.5 ressenti par quelques personnes
- 4 et 4.5 ressenti largement
- 5 et 5.5 ressenti par tout le monde
- 6 et 6.5 dommages légers
- 7 et 7.5 dommages prononcés
- 8 et 8.5 dégâts massifs
- 9 et 9.5 destructions nombreuses

10 km
5 mi

Longitude/Latitude : 5.17106 : 45.48003

Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

De l'aléa au risque

Failles et séismes en Isère

Des failles actives connues

Faille de Belledonne

Faille de l'Isère

Chevauchement subalpin

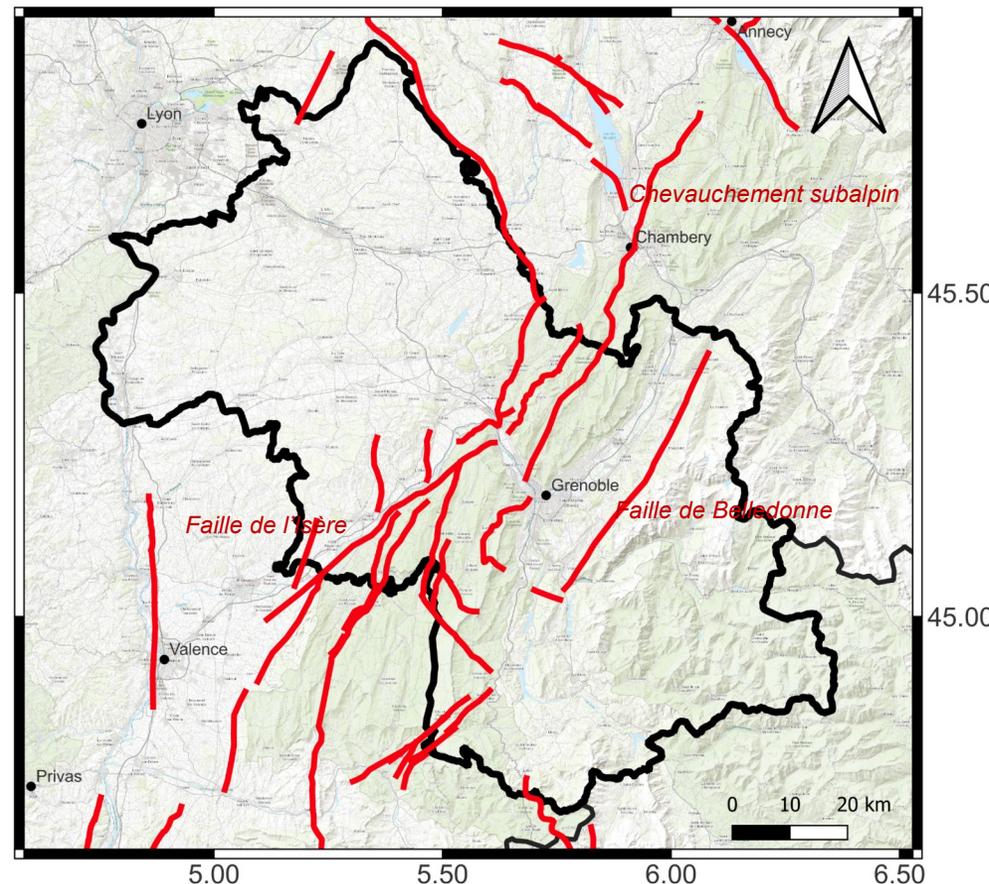
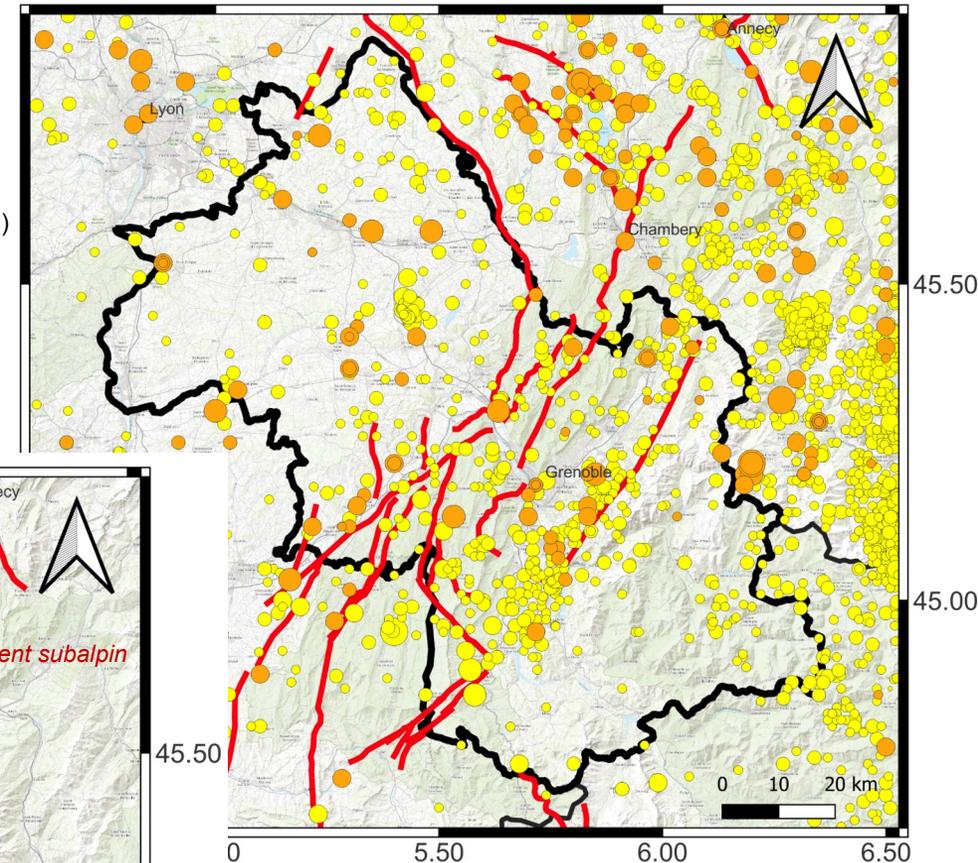
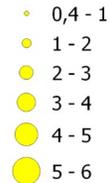
Une sismicité active

15 000 secousses détectées
et localisées par le réseau de
surveillance (SISMALP) lors
des vingt dernières années

Sismicité historique (avant 1962)



Sismicité instrumentale (post 1962)

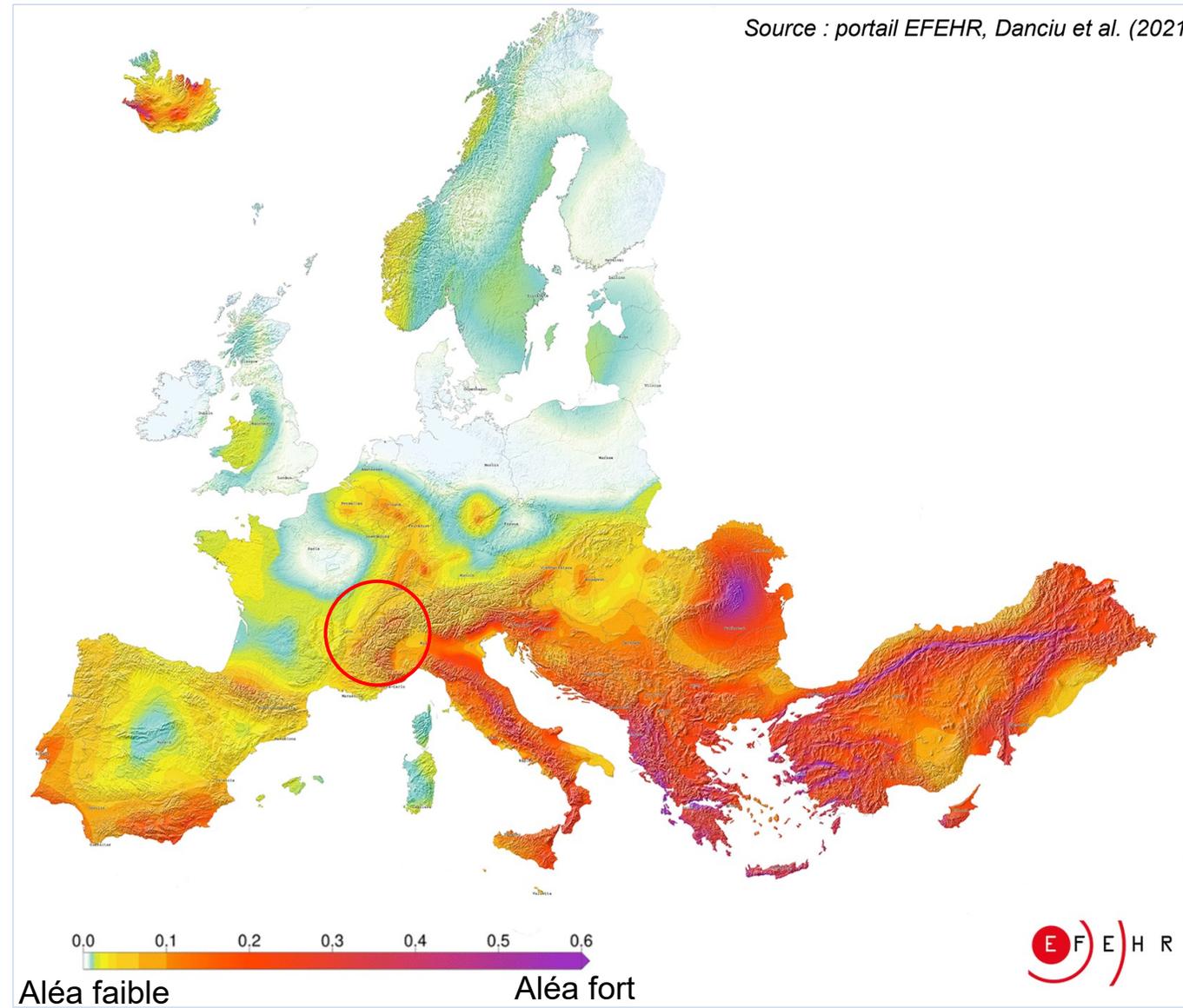


Sources : catalogues ISC, FCAT 2017, SIHex

Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

De l'aléa au risque

L'aléa sismique à l'échelle de l'Europe



Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

De l'aléa au risque

La prévention du risque sismique

Les actions passées, en cours et à venir

2005 – 2010 : Plan Séisme

- Programme national de prévention du risque sismique
- Élaboration nouvelle règle parasismique



Les étapes de la prévention. Source : C-PRIM, Comprendre l'origine du parasismique (MTECT/C-PRIM/AFPS)

2013 : Cadre d'actions pour la prévention du risque sismique (CAPRIS)

- Cadre national avec déclinaisons territoriales
- 4 priorités :
 - La sensibilisation au risque sismique et la formation à la construction parasismique ;
 - La réduction de la vulnérabilité des constructions par l'application de la réglementation parasismique et le développement du renforcement du bâti existant ;
 - L'aménagement du territoire communal (plans de prévention des risques sismiques) ;
 - L'amélioration de la connaissance de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque sismique ;
- Démarche régionale sismique (déclinée au niveau départemental) :
 - Amélioration de la connaissance
 - Actions de sensibilisation

Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

De l'aléa au risque

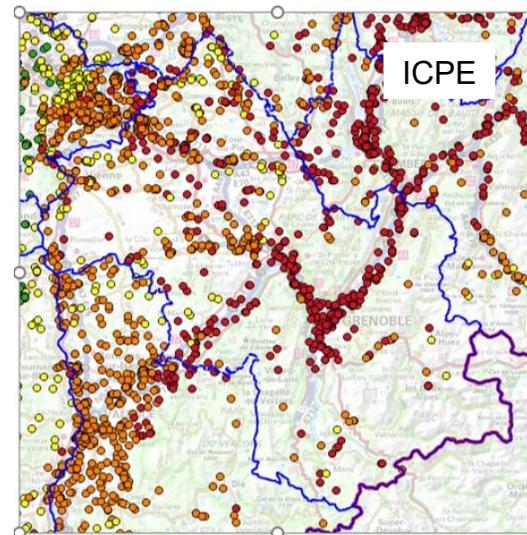
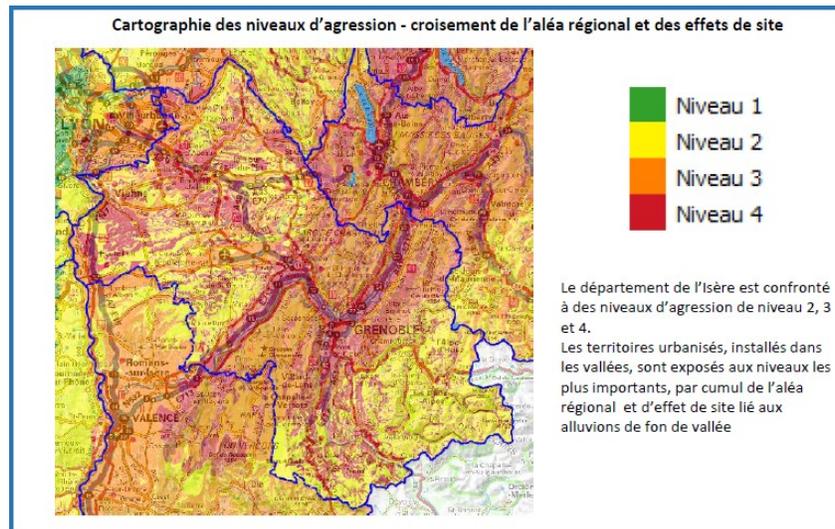
La prévention du risque sismique

Les actions passées, en cours et à venir en région Auvergne-Rhône-Alpes et en Isère

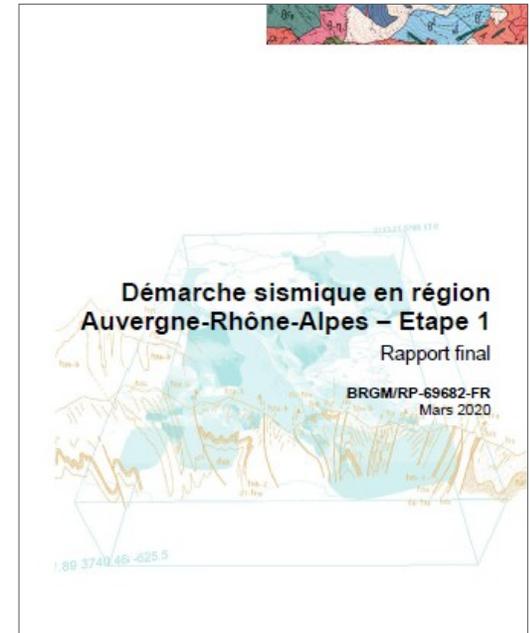
2018 : journées de formation à la « prise en compte du risque sismique dans les constructions » à destination des professionnels du BTP, maîtres d'oeuvre, architectes, maîtres d'ouvrage.

2020 : Appui du BRGM sur les actions suivantes :

- État des lieux régional des connaissances sur l'aléa, les enjeux et la vulnérabilité vis-à-vis du phénomène sismique ;



Rapport public BRGM RP-69682-FR



Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

De l'aléa au risque

La prévention du risque sismique

Les actions passées, en cours et à venir en Isère

2021-2022 : Étude de faisabilité d'une cartographie d'effets de site sur la vallée de l'Isère

En cours : Cartographie réglementaire des effets de site sur le bassin grenoblois ⇒ utilisations possibles :

- Outil d'aide pour définir les modalités de construction parasismiques adaptées au site d'implantation (appui au stade d'avant projet) : pour chaque secteur, elle indique quel type d'effets de site lithologiques liés à la nature du sol, sont à attendre
- Données d'entrée aux études de risque afin de mettre en évidence les zones à risque ou pour la préparation à la gestion de crise
- Support de communication et de sensibilisation pour l'information préventive :
=> ex. travaux C-Prim à Lourdes : <https://epicentre Lourdes.org/>

A venir :

- Travail de thèse, appliqué sur Grenoble, pour développer une méthodologie et des outils permettant d'aboutir, à moyen terme, à une prise en compte des effets de site 3D dans un microzonage sismique sur le secteur de Grenoble

Le financement de la prévention

Le fonds de prévention des risques naturels majeurs (ou « fond Barnier »)

- Elaboration des PPRN
- Actions d'information préventive
- Etudes et actions de prévention = réduction de la vulnérabilité (si PPRN approuvé financement à 50 % des études et des actions ; si PPRN prescrit financement 50 % des études et 40 % des actions)

Partie 2 – Aléa et risque sismique en Isère

Synthèse

Qu'en est-il du risque sismique en Isère ?

Le risque sismique c'est :

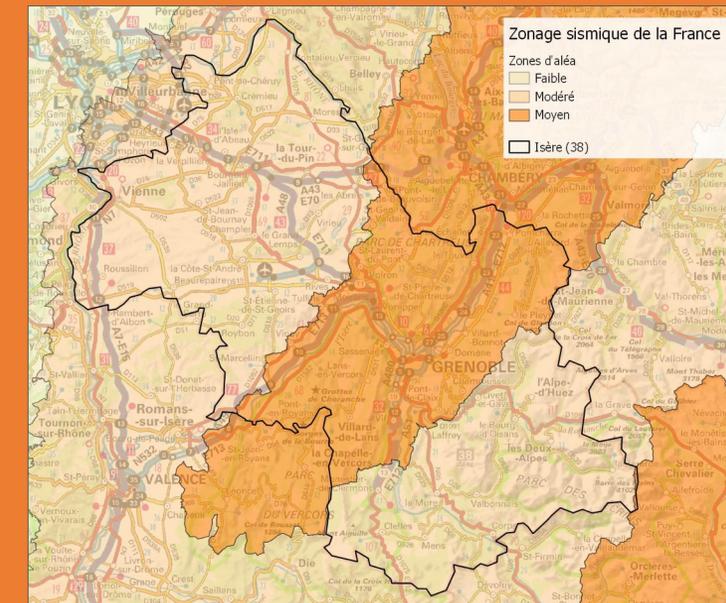
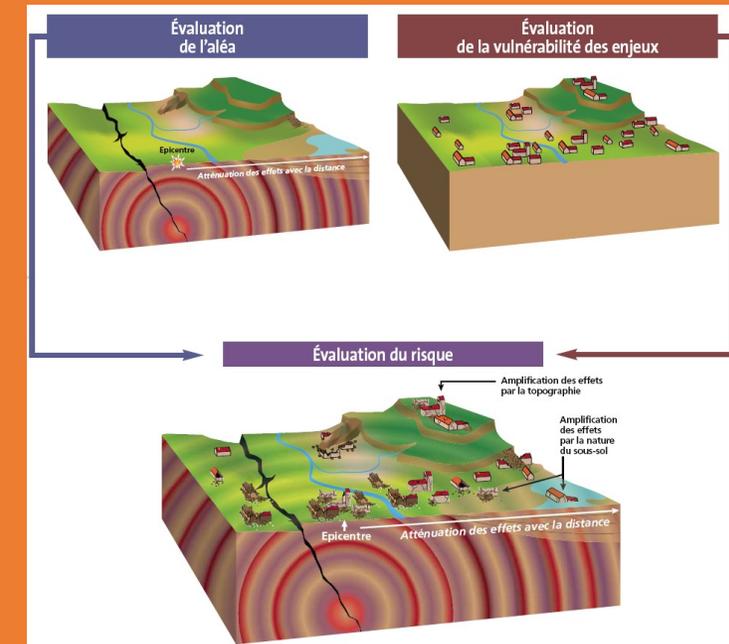
Le croisement entre l'aléa et la vulnérabilité des enjeux

En Isère :

- Une zone d'aléa modéré à moyen selon la réglementation nationale
- Des effets aggravants au niveau des vallées alpines
- Des enjeux importants
 - Population
 - Bâti commercial et industriel
 - ICPE
 - Ouvrages d'art
 - Barrages

⇒ Un risque sismique important à prendre en compte !

⇒ Des actions de prévention en cours au niveau du département (CAPRIS)



Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Règles parasismiques

Contexte

Constat

Lors des séismes, les **pertes humaines** sont principalement **dues à l'effondrement des constructions** sur les populations

Solution

La **construction parasismique** est le moyen de prévention le plus efficace contre le risque sismique

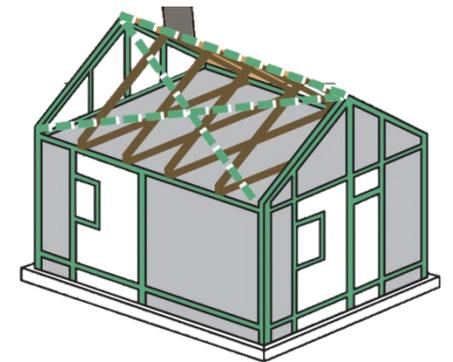
Principe et objectif des règles parasismiques

Une construction parasismique est capable de résister à un niveau d'agression sismique donné par la réglementation

Pour ce niveau d'agression, le bâti peut subir des dommages irréparables mais ne doit pas s'effondrer sur ses occupants

Deux objectifs principaux pour les bâtiments :

- Le non effondrement sous un séisme majeur, calculé pour une période de retour de 475 ans
- La limitation des dommages sous un séisme plus fréquent, calculé pour un séisme de période de retour de 95 ans



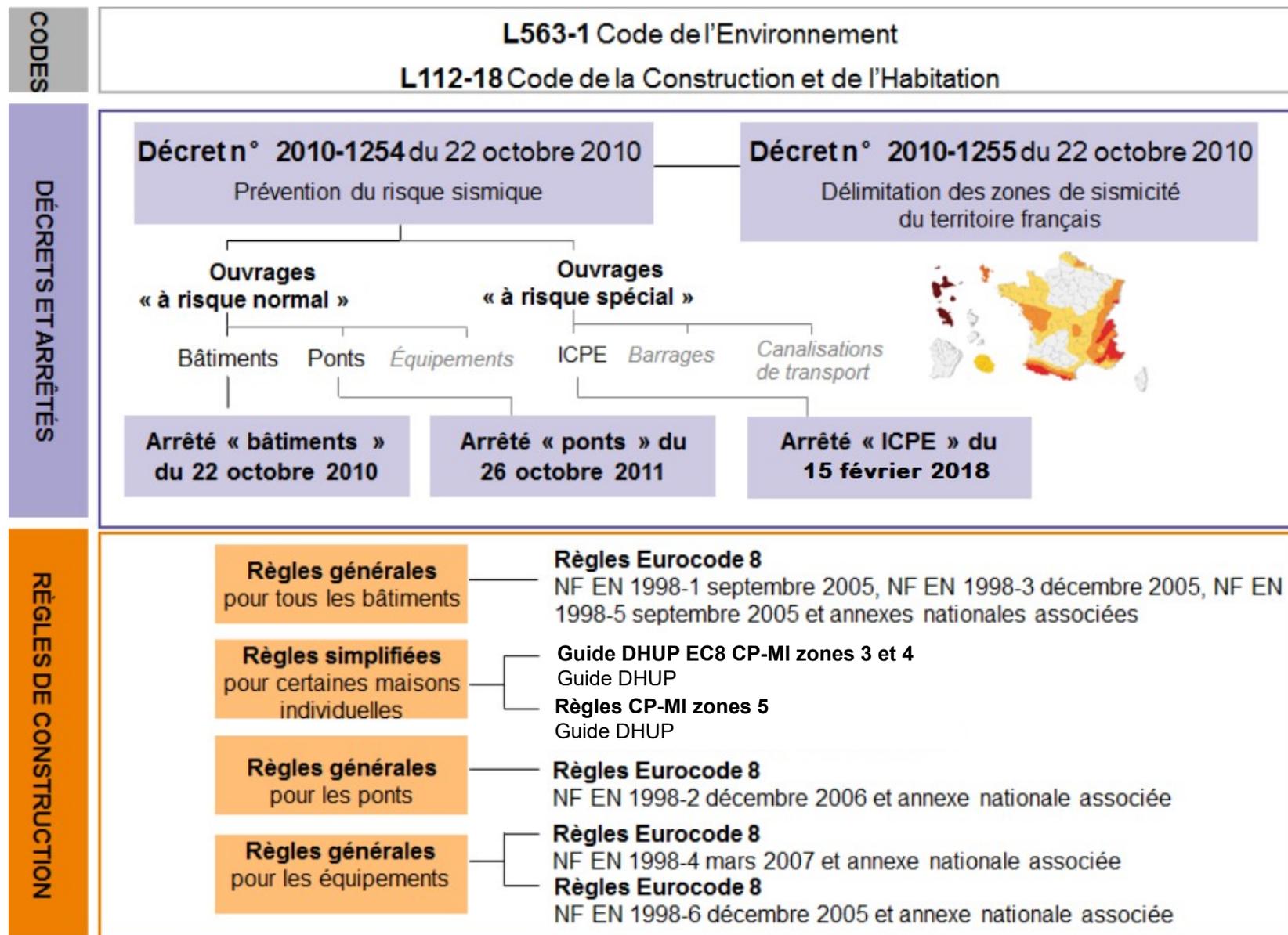
Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Textes

Organisation générale

Principe

La prise en compte du risque sismique est une **obligation réglementaire** pour la construction neuve.



Et les bâtiments existants?

Ne pas aggraver la vulnérabilité

Traitement différencié en fonction de l'impact des travaux envisagés sur le comportement du bâtiment en cas de séisme

Principe général: Ne pas aggraver la vulnérabilité		
Travaux affectant la structure et/ou les masses: règles adaptées	Extension désolidarisée: L'extension est soumise aux obligations du neuf (EC8-1)	Renforcement: Objectif à fixer et application de Eurocode 8-3

- Création/suppression de planchers
- Suppression de contreventement
- Équipements lourds
- Deux structures distinctes
- Non obligatoire (bâti courant)

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Zonage sismique

Comprendre la base du zonage réglementaire

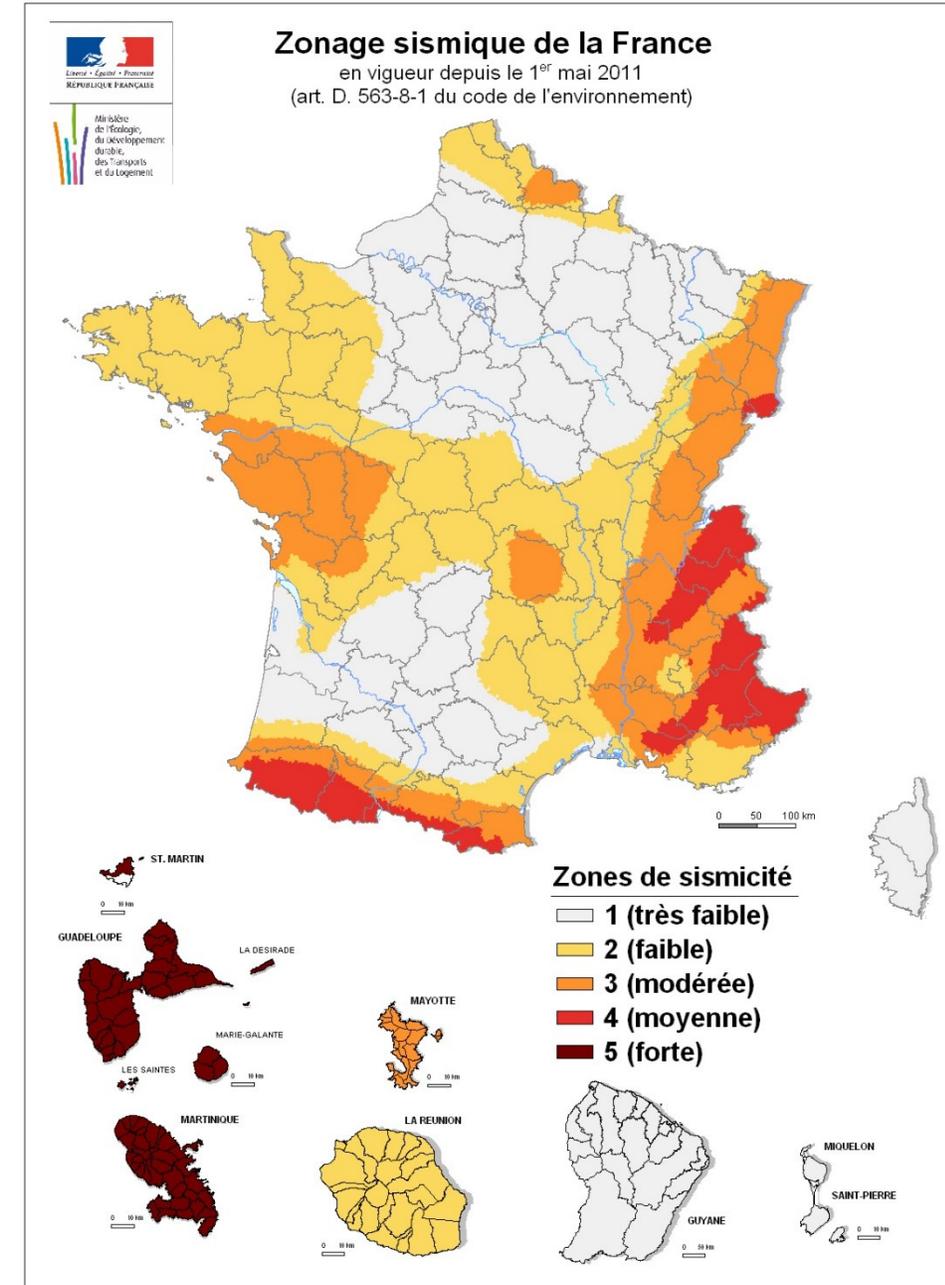
Objectif du zonage sismique

Sauvegarde des vies humaines pour une secousse dont le niveau d'agression est fixé pour chaque zone de sismicité

Le zonage sismique répond à un objectif de protection parasismique dans des limites économiques supportables pour la société

Zonage sismique

- 5 zones de sismicité croissante
- Basé sur un découpage communal
- Antilles : zone de sismicité la plus forte (zone 5)
- Hexagone : 4 zones de sismicité de 1 (très faible) à 4 (moyenne)
- Isère : zones 3 et 4

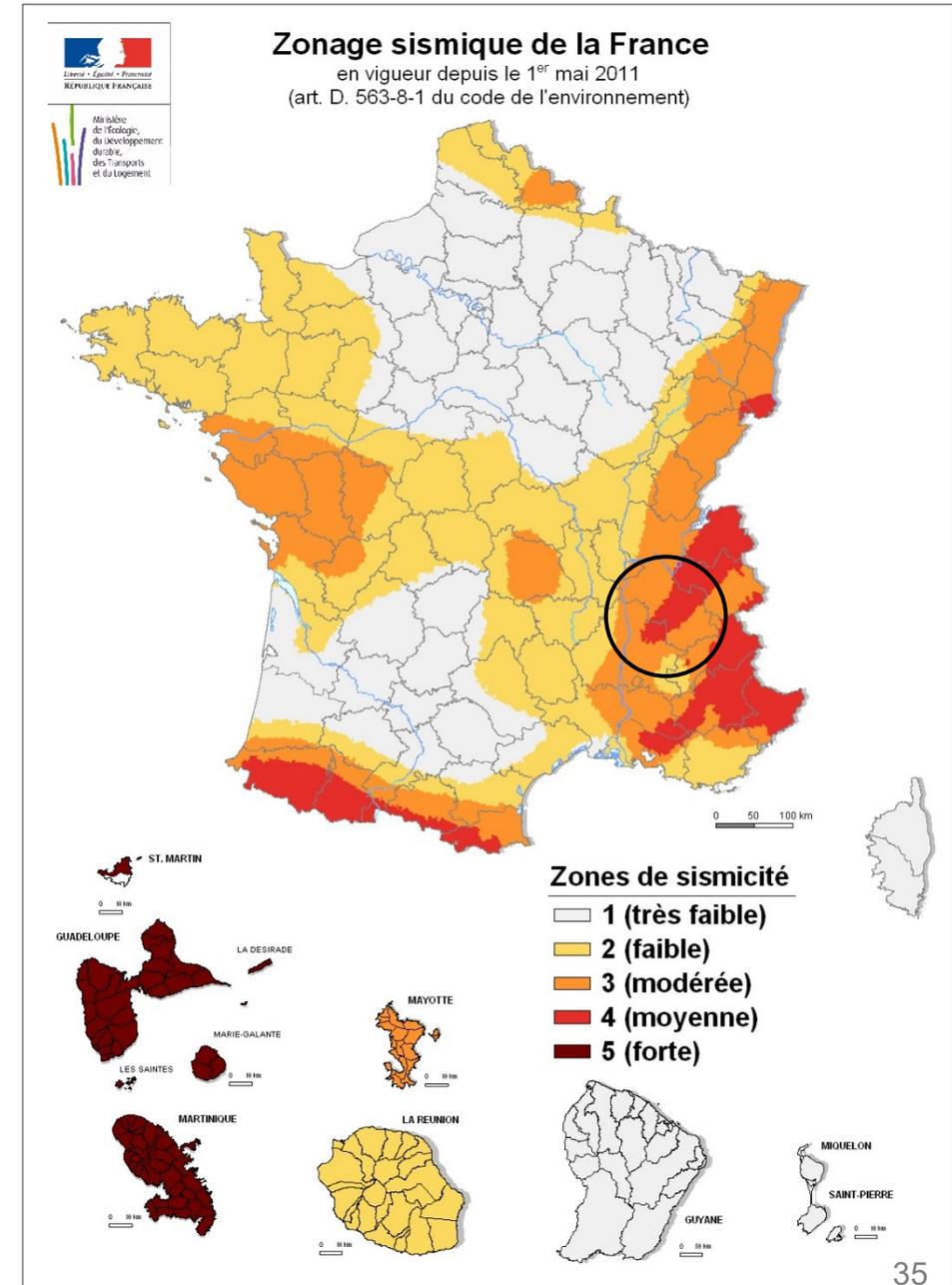
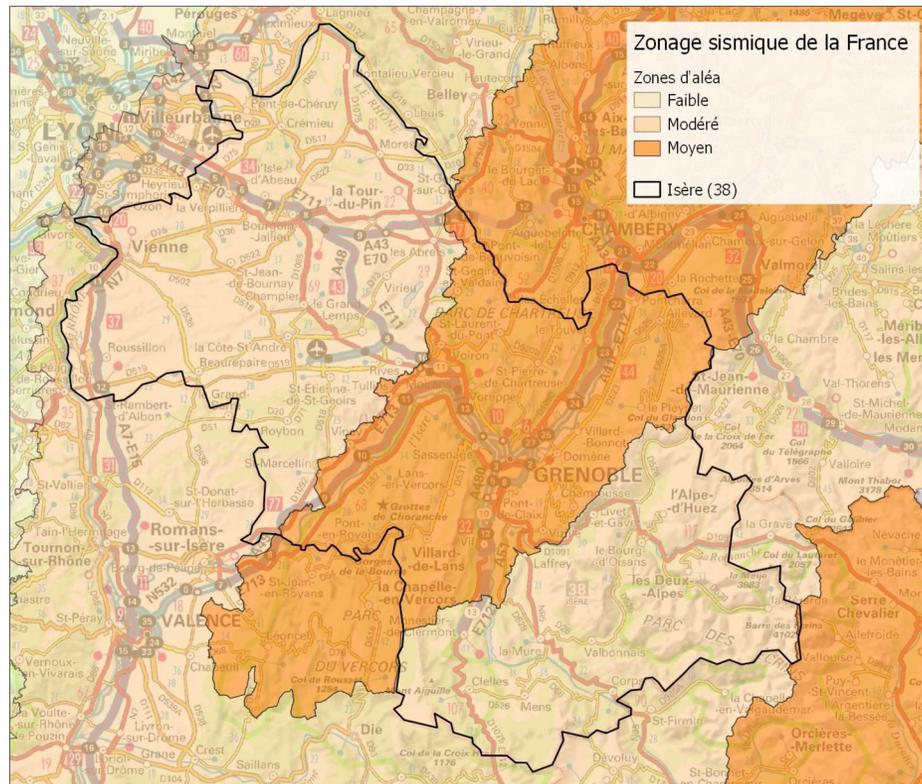


Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Zonage sismique

L'aléa sismique en Isère

Un aléa sismique modéré à moyen en Isère d'après la réglementation en vigueur



Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Zonage sismique

Effets de site et effets induits en Isère

Des effets locaux difficiles à évaluer de façon régionale ou départementale

Mais des configurations géologiques et topographiques susceptibles de présenter des effets de site

- Vallées alpines avec des remplissages sédimentaires profonds
 - ⇒ Effets de site connus
 - ⇒ Zones urbanisées installées principalement dans ces vallées
 - ⇒ Amplifications du mouvement sismique possibles dans ces zones (facteur aggravant)
- Zones de forte topographie
 - => effets de site et mouvements de terrain induits possibles

<http://efispec.free.fr/videos/GrenobleScenarioMw5.mp4>

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Zonage sismique

Comprendre la base des règles parasismiques

Mouvement sismique de référence

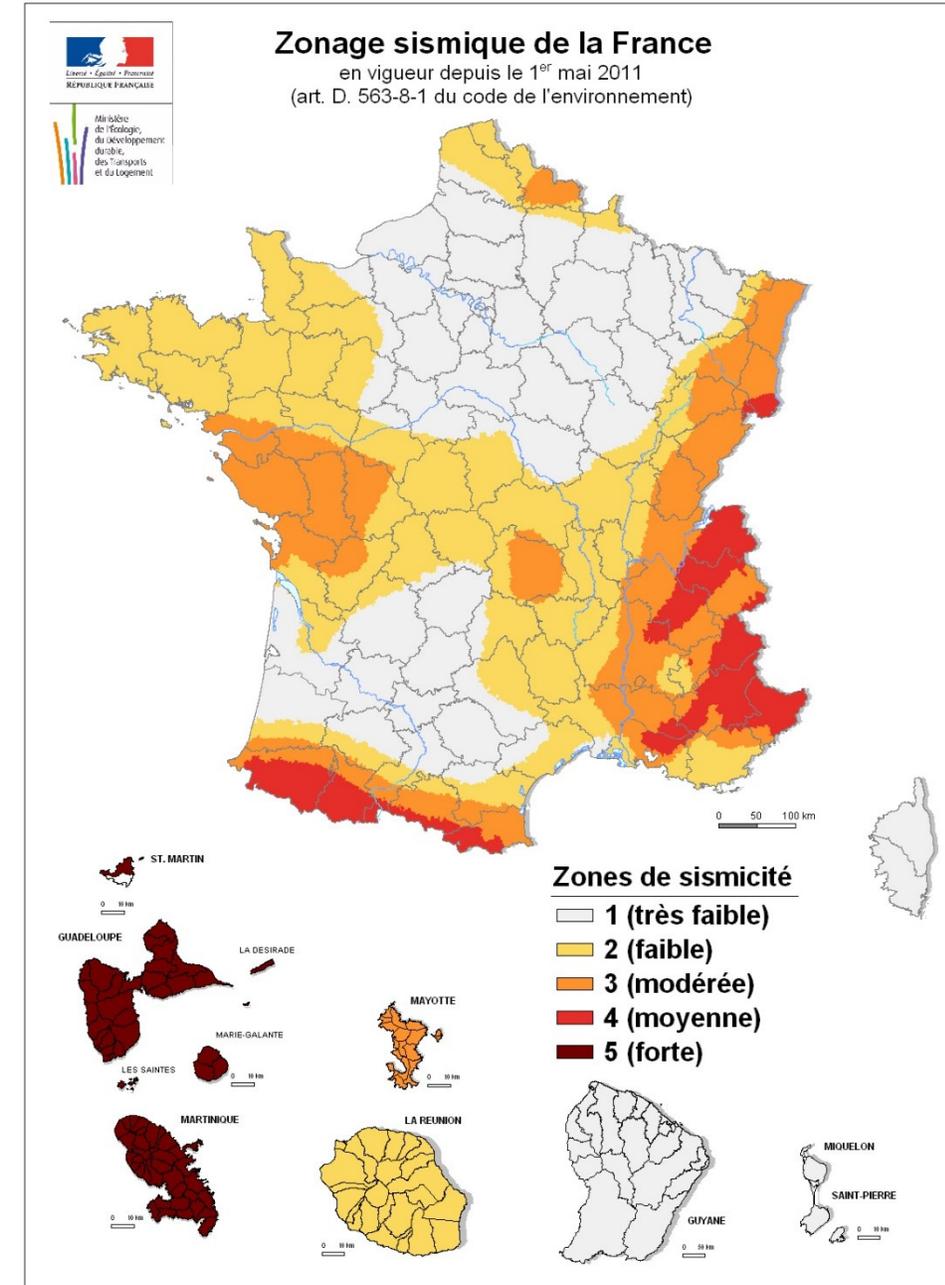
Pour construire un bâtiment selon les règles parasismiques, il faut définir le mouvement sismique de référence qui permettra de la dimensionner

Il dépend :

- De la zone de sismicité
- Du sol sur lequel il doit être construit (classe de sol)
- De la catégorie d'importance du bâtiment

Le mouvement du sol peut être décrit sous différentes formes : l'évolution de l'accélération du sol en fonction du temps (dit accélérogramme) ou le « spectre de réponse »

Pour le bâti courant, on utilise le spectre de réponse élastique



Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Règles parasismiques

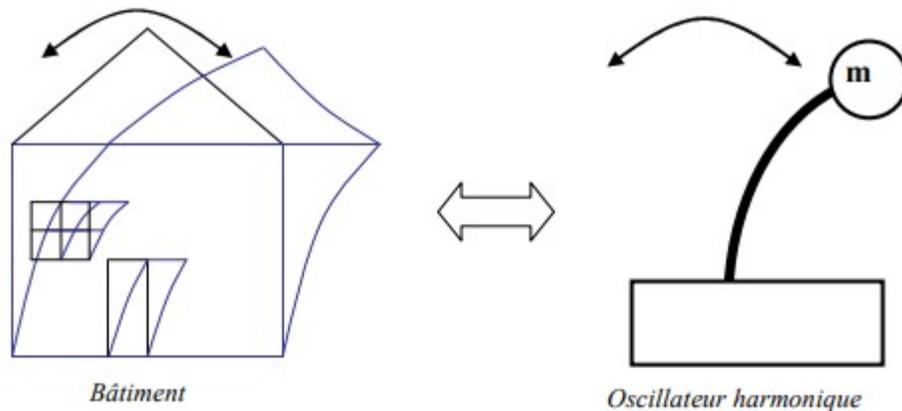
Comprendre la base des règles parasismiques

Le spectre de réponse élastique

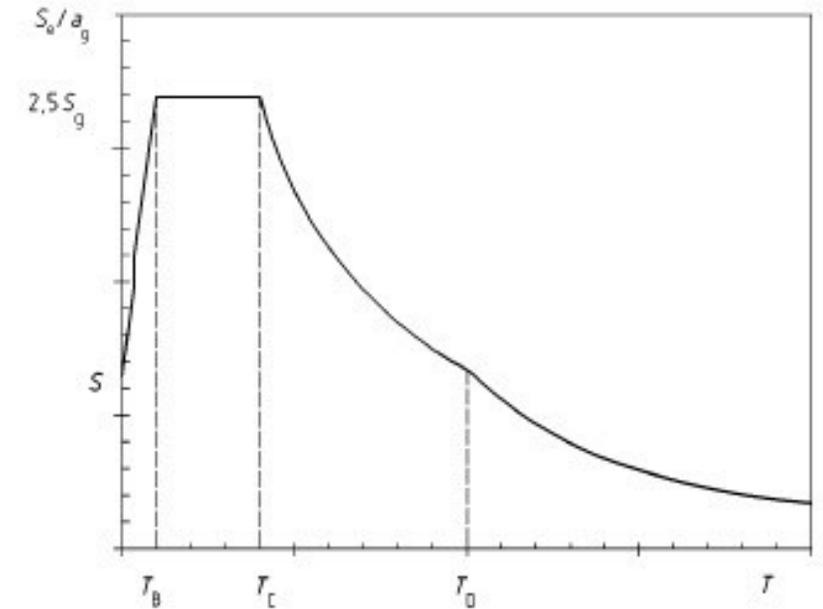
Il dépend d'un ensemble de paramètres définis dans la réglementation

Il permet de définir l'action sismique (accélération maximale) à laquelle le bâtiment doit résister en fonction de la période de vibration

Il est utilisé par les concepteurs d'ouvrage



Source : Préfecture des Bouches-du-Rhône



Forme du spectre de réponse élastique d'après l'EC8

Le spectre de réponse exprime l'accélération maximale (et donc la force) à laquelle est soumise une série de ressorts, chacun caractérisé par une fréquence (ou période) caractéristique.

En première approximation, ces ressorts peuvent être assimilés à des bâtiments ou à des équipements.

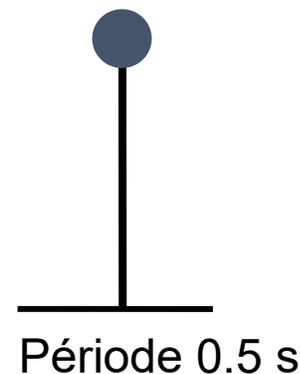
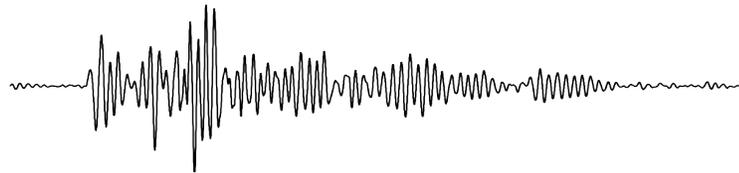
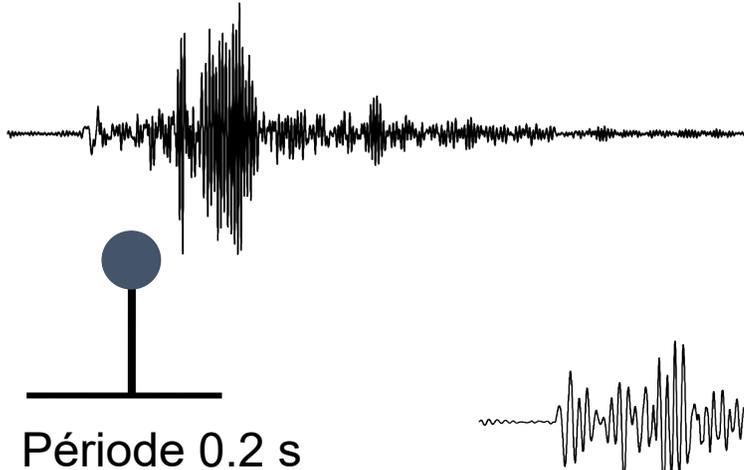
Source : IRSN

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Règles parasismiques

Comprendre la base des règles parasismiques

Notion de période propre du bâtiment



La période propre d'un bâtiment dépend notamment de:

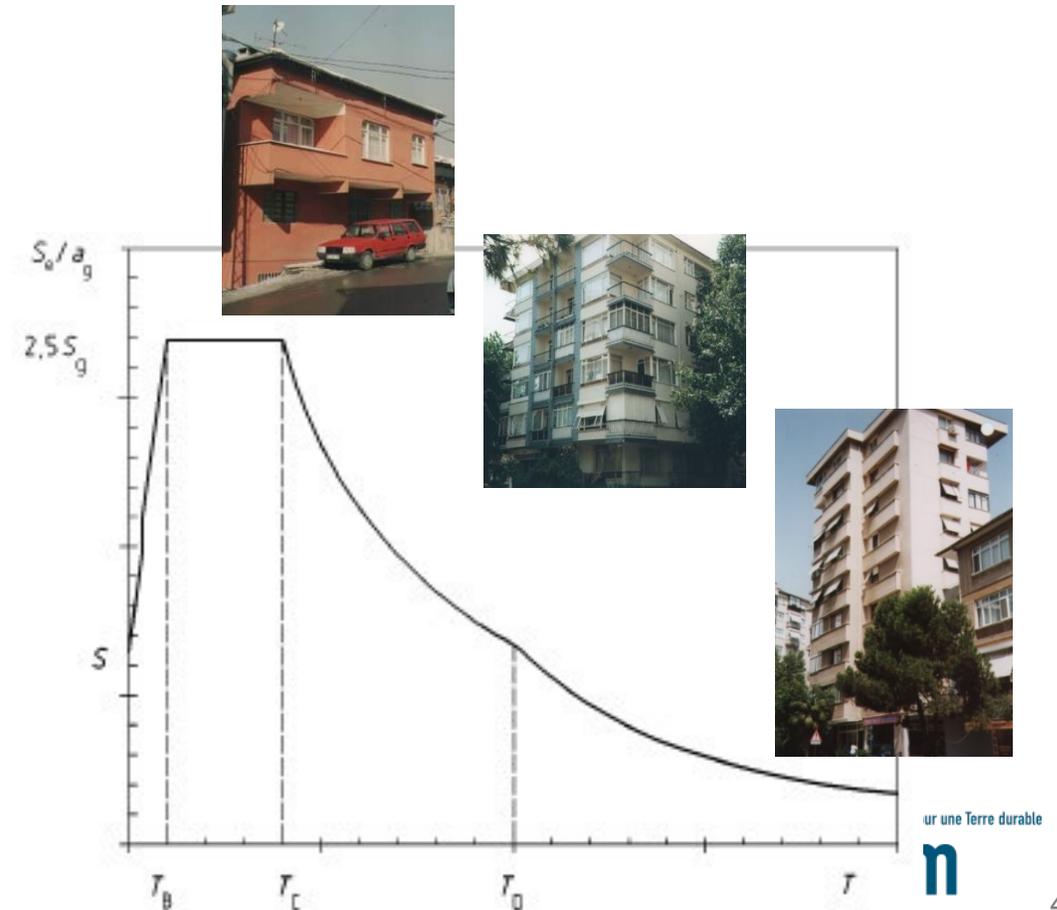
- Nombre d'étages
- De ces caractéristiques constructives

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Règles parasismiques

Comprendre la base des règles parasismiques

Spectre de réponse et période propre du bâtiment



Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Les classes de sol

Comprendre la base des règles parasismiques

La prise en compte des effets de site (coefficient de sol S)

Prise en compte de manière forfaitaire en caractérisant la réponse du site en fonction de la catégorie de sol au droit du site selon la classification établie par les Eurocode 8

Cette classification distingue 7 classes de sol caractérisées à partir des données géotechniques et/ou géologiques via leur profil lithologique et les paramètres $V_{s,30}$, N_{SPT} ou C_u



Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (Nb/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 sur-consolidée, 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			
S ₁	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (PI > 40) et une teneur en eau importante.	< 100 (indicative)	–	10 - 20
S ₂	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S ₁			

$V_{s,30}$: vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres

N_{SPT} : nombre de coups au pénétromètre dynamique SPT pour une pénétration de l'outil de 30 cm

C_u est la cohésion non drainée.

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Les classes de sol

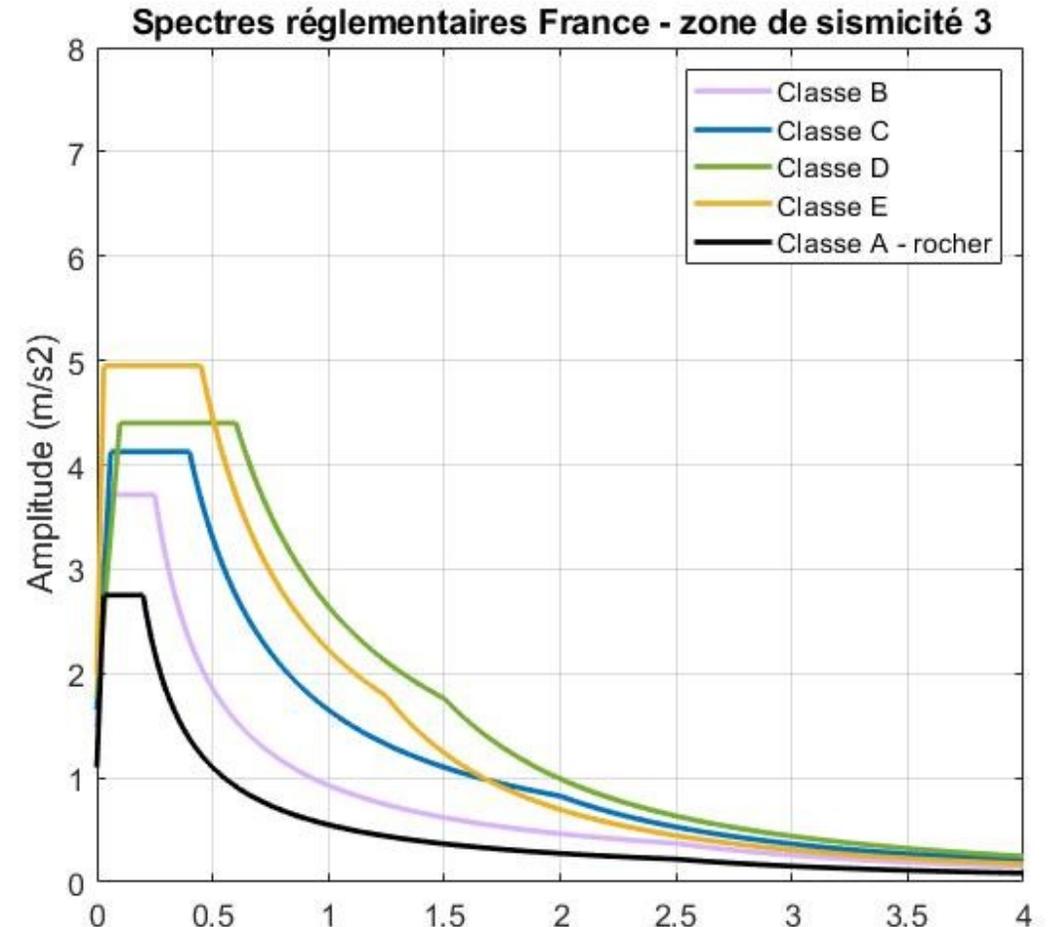
Comprendre la base des règles parasismiques

La prise en compte des effets de site (coefficient de sol S)

A chaque classe de sol EC8 correspond un paramètre de sol S (coefficient d'amplification par rapport à un sol rocheux de classe A)

Les paramètres décrivant le spectre de réponse élastique sont également modifiés

Classe de sol EC8	Paramètre de sol S
A	1
B	1,35
C	1,5
D	1,6
E	1,8



Exemple de spectres de réponse élastiques, zone de sismicité 3, classe de sol A à E

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Classification des bâtiments à risque normal

Adapter les mesures au risque

Pourquoi?

Graduer les exigences en fonction de l'enjeu et de l'aléa.

Comment?

Préciser les ouvrages pour lesquels l'application des règles parasismiques est requise.

Définir l'action sismique de calcul, en fonction de l'objectif de protection recherché.

Catégories d'importance		Description	Exemples
I		<ul style="list-style-type: none">Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée	Hangars, bâtiments agricoles
II		<ul style="list-style-type: none">Habitations individuellesÉtablissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5Habitations collectives de hauteur inférieure à 28mBureaux ou bâtiments à usage commercial non ERP, h ≤ 28m, max. 300 personnesBâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnesParcs de stationnement ouverts au public	Maisons individuelles, petits bâtiments
III		<ul style="list-style-type: none">ERP de catégories 1, 2 et 3Habitations collectives et bureaux, h > 28mBâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnesÉtablissements sanitaires et sociauxCentres de production collective d'énergieÉtablissements scolaires	Grands établissements, centres commerciaux, écoles
IV		<ul style="list-style-type: none">Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre publicBâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage de l'eau potable, la distribution publique de l'énergieBâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienneÉtablissements de santé nécessaires à la gestion de criseCentres météorologiques	Protection primordiale : hôpitaux, casernes...

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Classification des bâtiments à risque normal

Adapter les mesures au risque

Majoration de l'accélération
(coefficient d'importance)

Catégorie d'importance	Coefficient d'importance
I	0.8
II	1
III	1.2
IV	1.4

Dispense de mesures parasismiques dans certains cas

Possibilité d'utiliser des règles simplifiées (maisons individuelles)

		Catégorie d'importance des bâtiments				
		I	II	III	IV	
						
Zone de sismicité	Eurocode 8					
	Zone 1	Aucune exigence				
	Zone 2					Eurocode 8 ³ ou PS-MI ⁴
	Zone 3	PS-MI ¹	Eurocode 8 ³	Eurocode 8 ³		
	Zone 4	PS-MI ¹	Eurocode 8 ³	Eurocode 8 ³		
	Zone 5	CP-MI ²	Eurocode 8 ³	Eurocode 8 ³		

1 : Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI.
 2 : Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide.
 3 : Application obligatoire des règles Eurocode 8.
 4 : PS-MI possible pour les établissements scolaires d'un seul niveau, de catégorie III, et remplissant les conditions du domaine d'application.

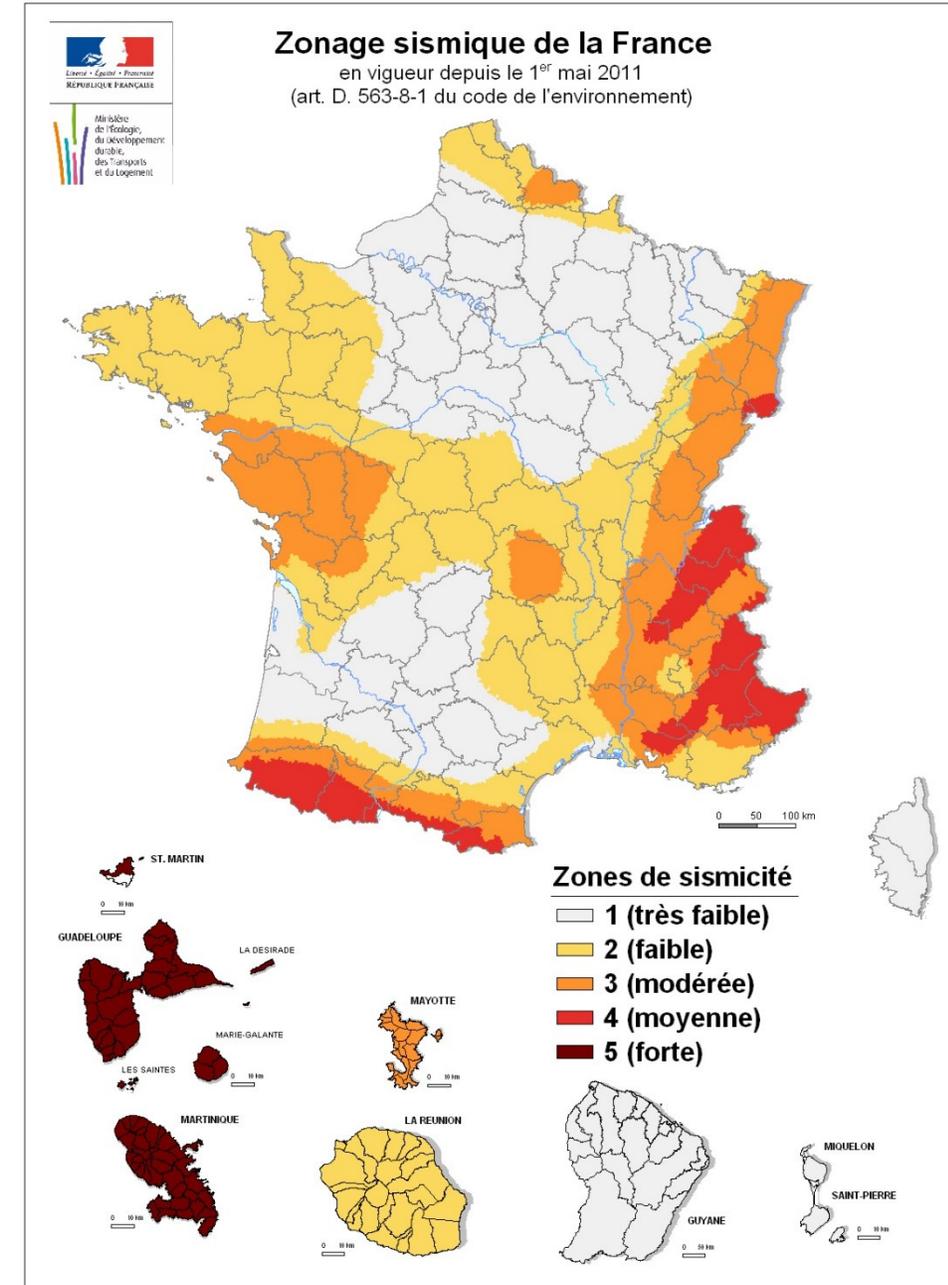
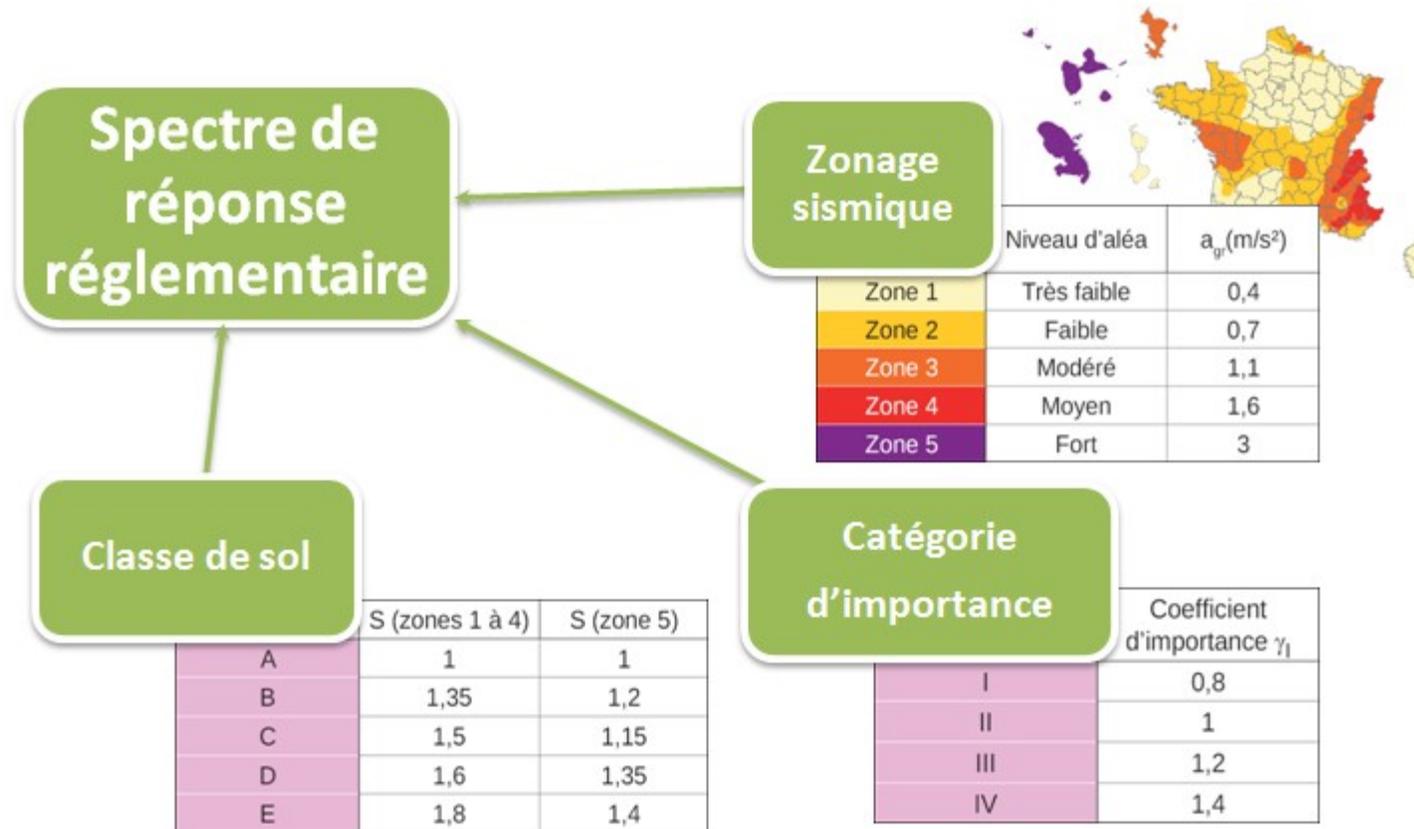
Isère

Source : C-PRIM, La réglementation parasismique. Application de l'Eurocode 8 (MTECT/C-PRIM/AFPS)

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Mouvement sismique de référence

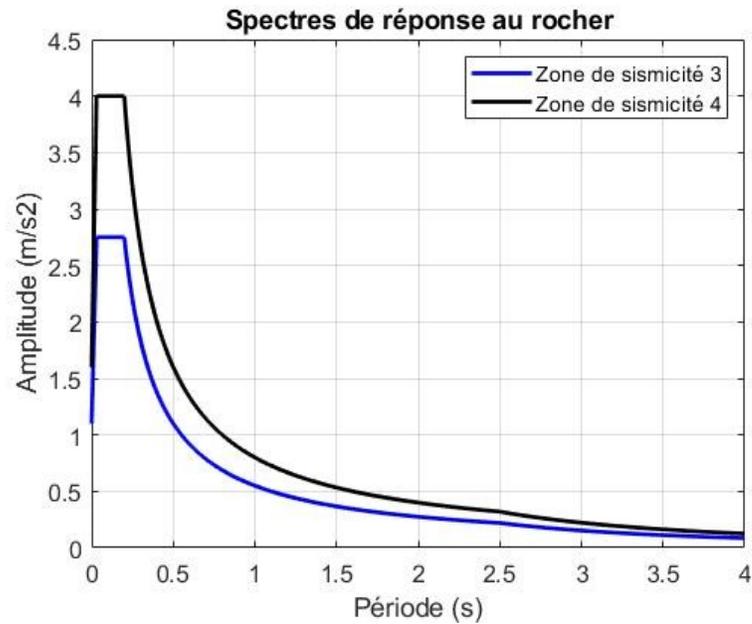
Définir le mouvement sismique de référence pour dimensionner le bâtiment à construire



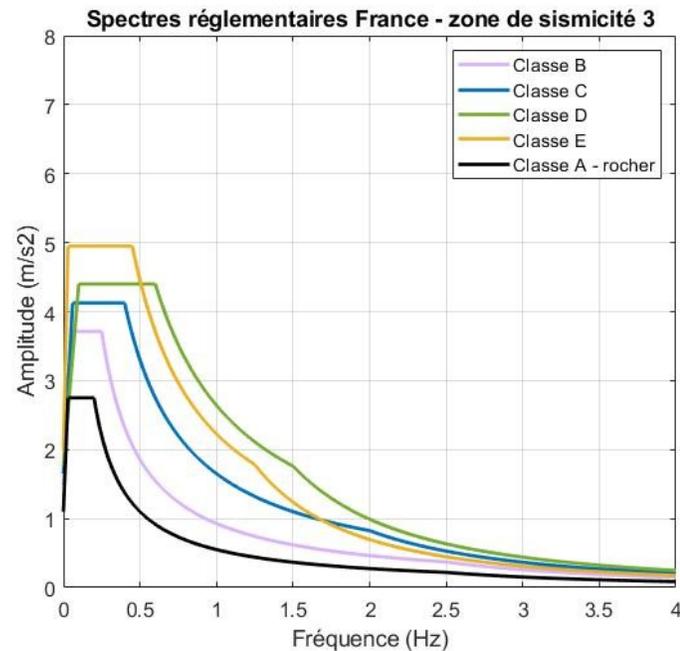
Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Mouvement sismique de référence

Définir le mouvement sismique de référence pour dimensionner le bâtiment à construire

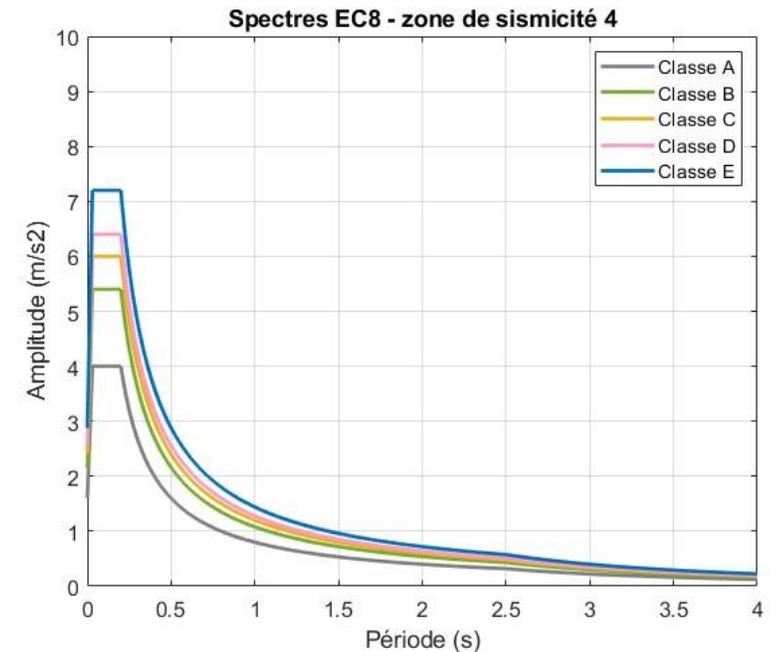


Zone de sismicité 3 et 4, catégorie importance II, classe de sol A (rocher)



Zone de sismicité 3, catégorie importance II, classe de sol A à E

Avec effets de site



Zone de sismicité 4, catégorie importance II, classe de sol A à E

Partie 3 – Le zonage réglementaire et les règles parasismiques

Synthèse

La **construction parasismique** est le moyen de prévention le plus efficace contre le risque sismique

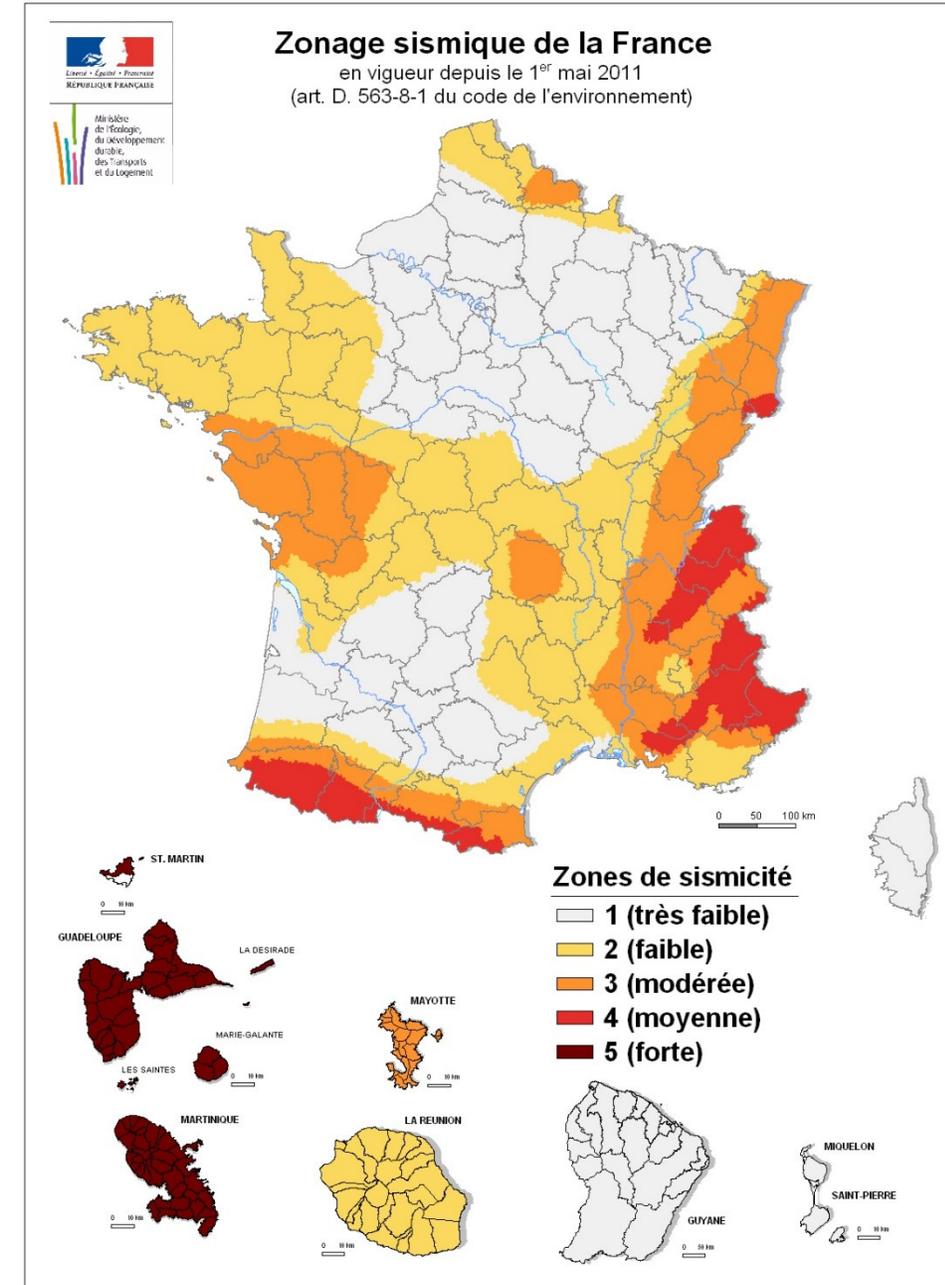
Objectifs de la réglementation parasismique :

Deux objectifs principaux pour les bâtiments :

- Le non effondrement sous un séisme majeur, calculé pour une période de retour de 475 ans
- La limitation des dommages sous un séisme plus fréquent, calculé pour un séisme de période de retour de 95 ans

Quelques points à retenir :

- Un zonage sismique réglementaire au niveau communal
⇒ Isère = zones de sismicité 3 et 4
- Des règles parasismiques qui concerne tous les types d'ouvrages et d'infrastructures : bâti courant, barrages, ponts, ICPE, etc...
- Des règles constructives
 - basées sur les Eurocode8 (EC8)
 - obligatoires pour les constructions neuves
 - applicables pour certains bâtiments existants
- Pour le bâti courant, un niveau de protection dépendant de la zone de sismicité, de la classe de sol et de la catégorie d'importance du bâtiment



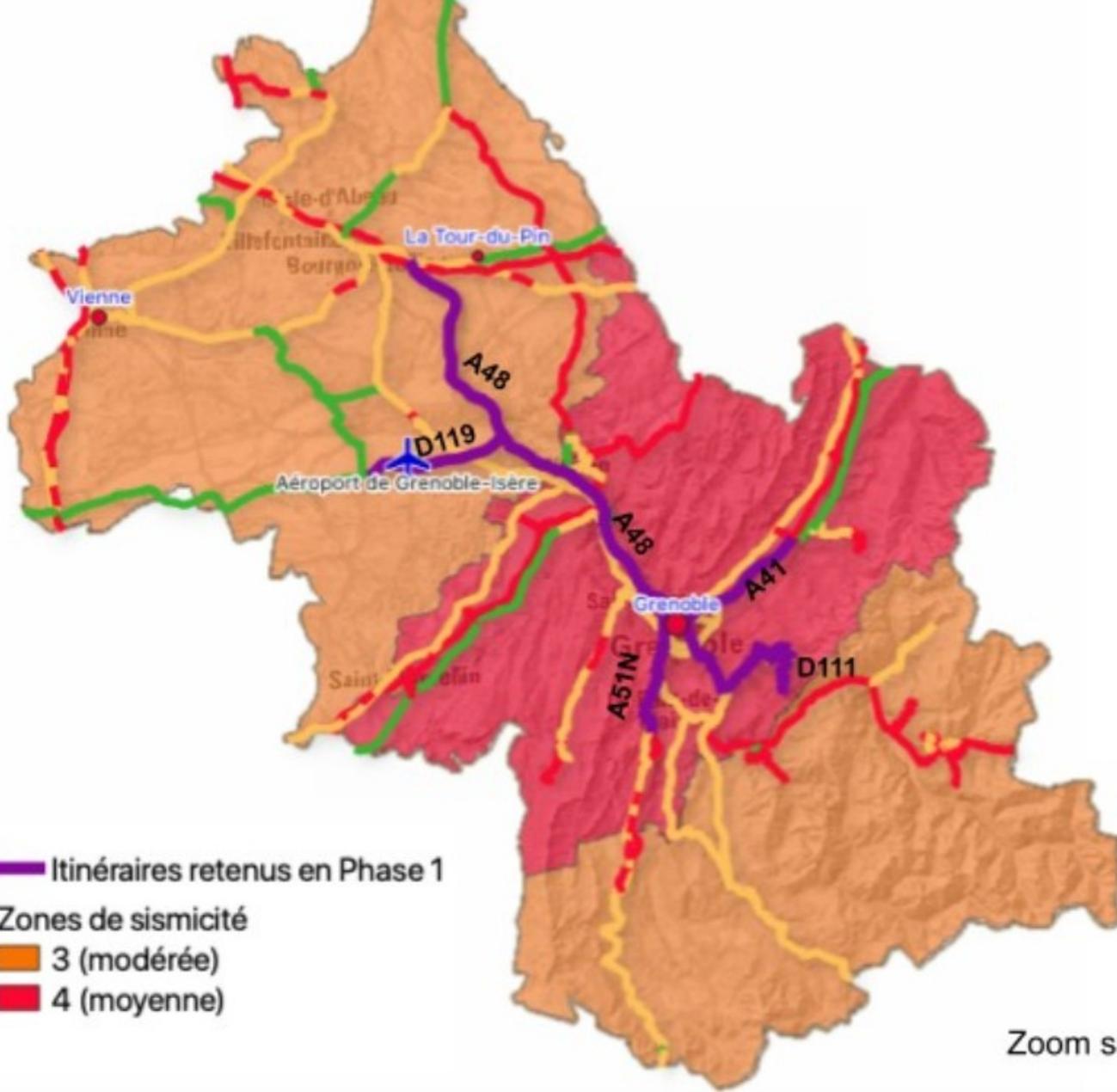
Partie 4 – Évaluation des risques sismiques sur les infrastructures routières du département de l'Isère et de la métropole de Grenoble

- Réponse au volet « vulnérabilité des infrastructures » du plan séisme ARA décliné pour l'Isère
- Les infras routières : éléments déterminants de l'organisation des secours et de la gestion de crise en cas d'événement sismique (acheminement des secours, accès aux victimes, évacuations, desserte des équipements stratégiques, reprise de l'activité)

Partie 4 – Évaluation des risques sismiques sur les infrastructures routières du département de l'Isère et de la métropole de Grenoble

OBJECTIFS / STRUCTURATION DE L'ÉTUDE

- **Phase 1 : Hiérarchisation**
- des itinéraires utilisables par les secours en cas de crise sismique → *réalisée*
- **Phase 2 : Évaluation préliminaire**
- du risque sismique sur les ouvrages et éléments constitutifs des itinéraires de secours prioritaires → en cours
 - * Ponts, murs, tunnels, remblais et talus routiers...
 - * Portions de routes exposées aux risques liquéfaction et gravitaires induits
 - * Bâtiments disposés en bord de chaussée présentant un risque d'effondrement



Zoom sur le territoire de Grenoble



Partie 4 – Contrôle des constructions neuves

Les attestations

- Ordonnance du 29 juillet 2022 visant à renforcer le contrôle des règles de construction
- + Décret du 12 décembre 2023 modifiant le régime des attestations « risque sismique »



		Catégorie d'importance des bâtiments			
		I	II	III	IV
Zone de sismicité	Eurocode 8				
	Zone 1	Aucune exigence			
	Zone 2			X	X
	Zone 3		X	X	X
	Zone 4		X	X	X
	Zone 5		X	X	X

Attestations sismiques à fournir au dépôt de PC et à l'achèvement des travaux

X déjà en vigueur

X à partir du 1^{er} janvier 2024

Elles sont réalisées par un CT ou un constructeur (maison individuelle) ou un bureau d'étude agréé (à l'achèvement des travaux)

Isère

Les attestations

- Contenu des attestations **(A PRECISER PAR ARRETE)**
 - identification du maître d'ouvrage
 - identification de l'attestateur
 - précise la liste des documents remis par le MOA à l'attestateur
 - description du projet
 - localisation
 - caractéristiques (catégorie d'important du bâtiment, zone sismique, type de projet, référentiel utilisé, existence d'un PPRS, ...)
 - conclusions et éventuellement réserves émises par l'attestateur

Partie 4 – Contrôle des constructions neuves

Les attestations

- Contrôle des attestations

1^{er} niveau de vérification : le service instructeur du permis de construire s'assure de la transmission de l'attestation

2nd niveau de vérification : un service de l'État contrôle l'attestation

Ordonnance du 29 juillet 2022

« Art. L. 122-13. – Les attestations mentionnées à la présente section sont transmises par le maître d'ouvrage à un service de l'Etat ou à un organisme désigné par décret en Conseil d'Etat.

« Art. L. 122-14. – Un décret un Conseil d'Etat définit les modalités d'application de la présente section. Il détermine notamment :

(...) 3. Les modalités de transmission, d'exploitation, d'évaluation et de vérification des attestations par l'organisme désigné en application du premier alinéa de l'article L. 122-13. »

=> vers une dématérialisation des attestations (génération, systématisation de la collecte, contrôle de complétude et de cohérence, ciblage des contrôles sur site,...)

Partie 4 – Contrôle des constructions neuves

Les contrôles sur site

- Des contrôles ciblés

- sur les maisons individuelles
- en zone de sismicité moyenne (4)
- en cours de chantier (fondations, montage des murs, réalisation des planchers, réalisation de la charpente)

Qui réalise les contrôles ?

3 contrôleurs à la DDT38, formation à venir sur le risque sismique

A partir du 1^{er} janvier 2024, possibilité de réaliser le contrôle avec un contrôleur technique

Ordonnance du 29 juillet 2022

« Art. L. 181-1-1. – L'autorité administrative compétente ou les fonctionnaires et agents publics mentionnés à l'article L. 181-1 peuvent désigner un contrôleur technique agréé,

assermenté et n'ayant aucune activité de nature à porter atteinte à son impartialité et à son indépendance par rapport au projet, pour procéder à la visite des bâtiments (...).

Un décret en Conseil d'Etat détermine les conditions d'application du présent article. »

=> en attente du décret

Partie 4 – Les conséquences potentielles sur le bâti et les infrastructures

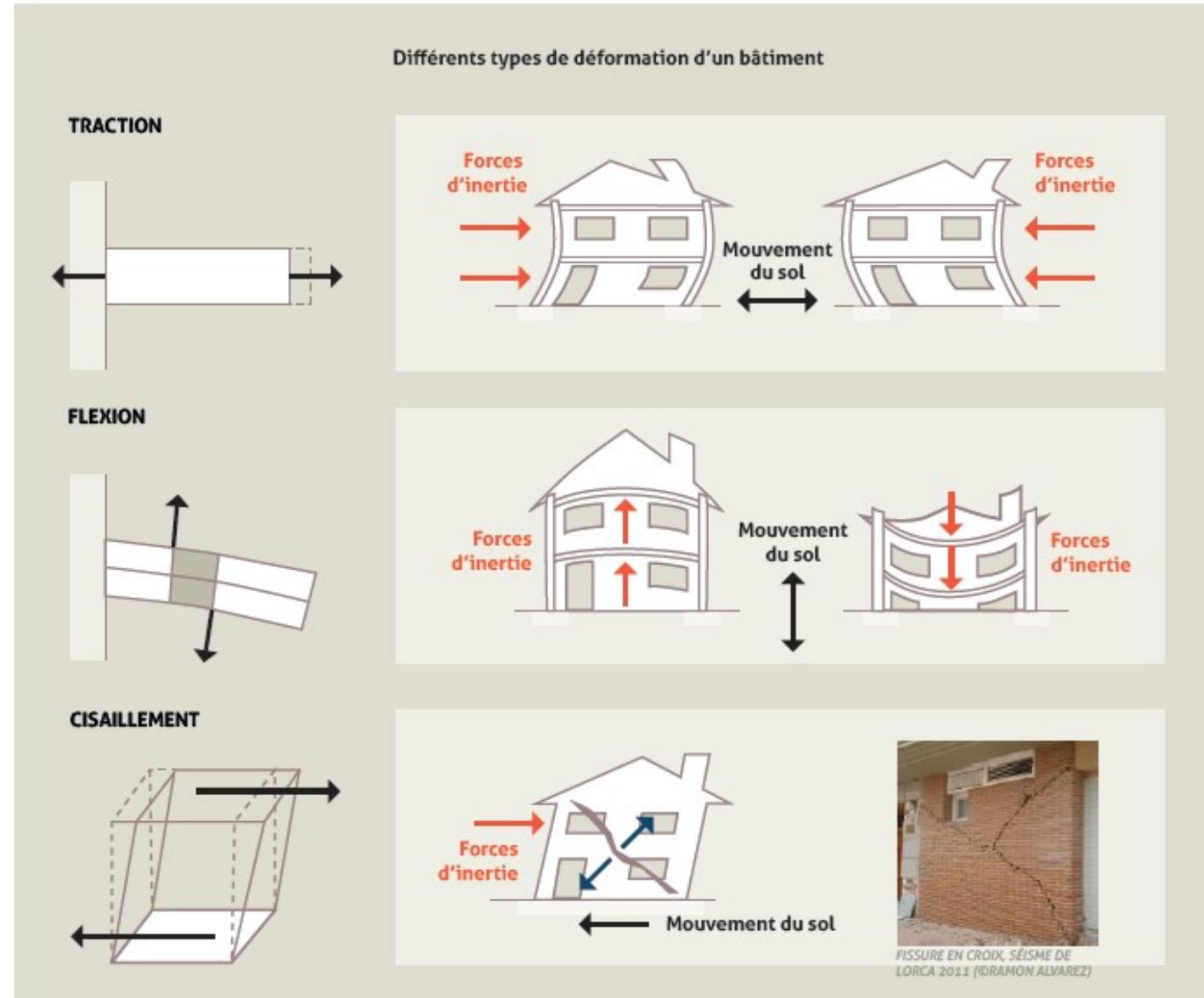
Les dommages aux bâtiments

Mouvement sismique et déformations d'un bâtiment

Lors d'un séisme, le bâtiment est soumis à différentes forces qui entraînent différents types de déformation :

- Traction
- Compression
- Flexion
- Cisaillement
- Torsion

Ces déformations peuvent engendrer des dommages aux bâtiments



Partie 4 – Les conséquences potentielles sur le bâti et les infrastructures

Les dommages aux bâtiments

Typologie de dommages

Il existe des dommages structurels et non structurels, avec 5 degrés de dommages possibles

Exemple de dommages sur des constructions en maçonnerie



D1. dégâts
négligeables à légers

D2. dégâts
modérés

D3. dégâts
sensibles à
importants

D4. dégâts très
importants

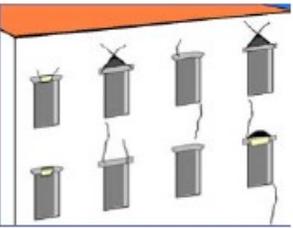
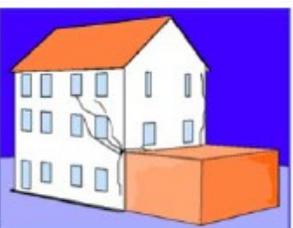
D5. destructions

Partie 4 – Les conséquences potentielles sur le bâti et les infrastructures

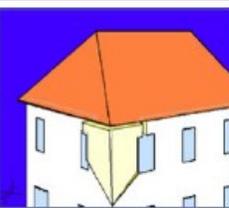
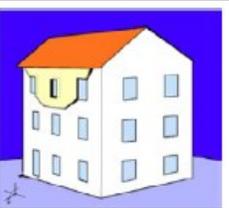
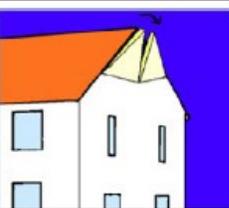
Les dommages aux bâtiments

Exemple du séisme du Teil

Habitats individuels anciens

		<p>Fissuration dans la maçonnerie enclenchée par des concentrations de contrainte aux angles.</p> <p>→ affaissement d'arc et linteau</p>
		<p>Fissuration développée par discontinuité sur les caractéristiques structurelles</p>

Source : Rapport mission post-sismique AFPS, 2020

		<p>Défaillance d'angle par absence de chaînage. Ligne de rupture au niveau des appuis de chevrons et pannes.</p>
		<p>Rupture liée au martèlement cyclique de la charpente sur le mur et affaiblissement local par les ouvertures.</p>
		<p>Défaillance en tête du mur pignon induite par le martèlement cyclique de la poutre faîtière.</p>
		<p>Basculement de la façade par absence ou mauvaise connexion au sommet et aux murs orthogonaux. Ligne de rotation au niveau de la jonction avec structure adjacente.</p>

Type d'habitat en maçonnerie (pierres brutes, moellons), très vulnérable

Des dommages structurels importants

Type d'habitat le plus impacté par le séisme

Partie 4 – Les conséquences potentielles sur le bâti et les infrastructures

Les dommages aux bâtiments

Exemple du séisme du Teil

Autres bâtiments

Habitat individuel récent (maçonneries avec chaînages horizontaux et verticaux) => très peu de dommages structurels

Habitat collectif (béton armé) => pas de désordres majeurs

Bâti scolaires et publics => des dommages variables selon la typologie de construction, 1 école détruite, 1 lycée endommagé, mairie fortement endommagée

Dégâts importants sur le bâti historique (églises)

Source : Rapport mission post-sismique AFPS, 2020



Partie 4 – Les conséquences potentielles sur le bâti et les infrastructures

Les dommages aux bâtiments

Exemple du séisme du Teil

Éléments non structuraux

- Cheminées : désolidarisation du bâtiment, perte de mitre
- Déplacements équipements lourds (ex. machines du lycée technique)
- Dégâts sur les stèles du cimetière de Fayol (basculement)
- Basculement de murs de parapet ou de soutènement
- Dégâts sur le second œuvre (cloisons)

Ouvrages d'art / réseaux

Peu ou pas de dégâts

Source : Rapport mission post-sismique AFPS, 2020



Fissure dans une cloison ancienne



Fissure en échelon dans une cloison en briques



Désolidarisation de la cloison et du mur

Partie 4 – Les conséquences potentielles sur le bâti et les infrastructures

Synthèse

Évaluation du risque sismique sur les infrastructures routières

itinéraires de secours

Contrôles réglementaires du bâtiment

Attestation réalisée par un CT ou un constructeur ou un BE agréé

Contrôle de l'attestation par les services l'État

Exemple du séisme du Teil

Une forte vulnérabilité du bâti individuel ancien (maçonnerie)

Des dommages structuraux et non structuraux

Merci pour votre attention !

Quelques sites de référence

Surveillance sismique et alerte

Surveillance sismique : [Accueil - Franceseisme.fr \(unistra.fr\)](http://Accueil - Franceseisme.fr (unistra.fr))

Surveillance sismique des Alpes : [Sismalp : réseau de surveillance sismique des Alpes françaises \(osug.fr\)](http://Sismalp : réseau de surveillance sismique des Alpes françaises (osug.fr))

Alerte sismique : CEA - Dernières alertes sismiques

En cas de séisme ressenti : [Le Bureau Central Sismologique Français - BCSF \(franceseisme.fr\)](http://Le Bureau Central Sismologique Français - BCSF (franceseisme.fr))

La sismicité historique : www.sisfrance.net

Règles parasismiques

Informations générales sur les règles parasismiques :

[Construction et risques sismiques | Ministères Écologie Énergie Territoires \(ecologie.gouv.fr\)](http://Construction et risques sismiques | Ministères Écologie Énergie Territoires (ecologie.gouv.fr))

PPRS de Lourdes :

<https://www.hautes-pyrenees.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Securite-et-protection-de-la-population/Securite-civile/Le-risque-sismique-en-Hautes-Pyrenees>

PPRS de Nice :

<https://>

www.alpes-maritimes.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Environnement-risques-naturels-et-technologiques/Les-risques-naturels-et-technologiques/Les-plans-de-prevention-des-ri-sques-PPR-approuves-et-l-Information-acquereurs-locataires-IAL/NICE/

Association Française de Génie Parasismique (AFPS) (dont guides techniques)

<https://www.afps-seisme.org/>

Informations générales

Maison du Risque Sismique (Lourdes) : <https://epicentrelourdes.org/>

C-Prim : [Dossiers thématiques - Centre Pyrénéen des Risques Majeurs \(c-prim.org\)](http://Dossiers thématiques - Centre Pyrénéen des Risques Majeurs (c-prim.org))

Ressources pédagogiques sur les Sciences de la Terre : Bienvenue sur l'ObservaTerre

! Un site web sur la géophysique et l'observation de la Terre entièrement dédié au grand public.