

# Impact du séisme de 1799 sur le bâti courant des départements de Loire-Atlantique (44) et de Vendée (85)

Rapport final  
BRGM/RP-66113-FR  
Septembre 2016



# Impact du séisme de 1799 sur le bâti courant des départements de Loire-Atlantique (44) et de Vendée (85)

Rapport final

**BRGM/RP-66113-FR**  
Septembre 2016

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2016 (Convention BRGM- DREAL  
Pays-de-la-Loire)

**J. Rey, D. Monfort-Climent**  
Avec la collaboration de Pierre Tinard (CCR)

**Vérificateur :**

Nom : M. BELVAUX

Fonction : Responsable scientifique de  
programme

Date : 09/09/2016

Signature :



**Approbateur :**

Nom : P. CONIL

Fonction : Directeur régional Pays-  
de-la-Loire

Date : 16/09/2016

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,  
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

**Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.**

**Mots clés** : Risque sismique, scénario, aléa, déterministe, dommages, assurance, pertes, Vendée, Loire-Atlantique, Bouin.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Rey J., Monfort Climent D. avec la collaboration de Pierre Tinard (CCR)** (2016) – Impact du séisme de 1799 sur le bâti courant des départements de Loire-Atlantique (44) et de Vendée (85). Rapport final. BRGM/RP-66113-FR, 59 p., 16 fig., 7 tabl., 1 annexe.

© BRGM, 2016, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Le séisme dit « de Bouin », survenu en 1799, est le séisme historique le plus important des Pays de la Loire et il avait engendré de nombreux dommages. Or, depuis, la densité de construction a considérablement augmenté, notamment dans les secteurs attractifs que sont le littoral et la métropole Nantaise.

Afin de contribuer à la communication sur l'aléa sismique, il est proposé d'évaluer un scénario de dommages reproduisant ce séisme historique majeur ayant touché la région. Le but de l'exercice est principalement de fournir des éléments **afin de sensibiliser et d'informer** les élus, gestionnaires, constructeurs et particuliers aux conséquences d'un événement sismique sur les communes littorales et sur la ville de Nantes, permettant en particulier une meilleure appréhension des modifications réglementaires parasismiques dans cette région.

Le BRGM et la CCR (Caisse Centrale de Réassurance) ont signé en juin 2014 une convention-cadre pour établir un partenariat de recherche collaborative, destiné à améliorer leur expertise multi-périls des vulnérabilités et la transformation de ces vulnérabilités en approche économique. Des scénarios de dommages départementaux sont réalisés afin d'évaluer les conséquences financières sur les constructions pour une source sismique donnée. L'évaluation des conséquences financières porte sur le seul périmètre des biens assurés indemnisables dans le cadre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles. Ces travaux fournissent ainsi des résultats pouvant être utiles pour la DREAL Pays-de-la-Loire qui a souhaité s'associer à ces travaux qui ont été adaptés pour deux départements : la Vendée (85) et la Loire-Atlantique (44).

La présente étude est ainsi réalisée dans le cadre de la convention de recherche et développement à coûts partagés entre la DREAL Pays-de-la-Loire et le BRGM signée en mars 2016. La méthodologie générale des scénarios de risque sismique développée par le BRGM et appliquée dans le cadre des travaux conjoints avec CCR a été utilisée sur le territoire des deux départements traités.

Les hypothèses du modèle mis en place permettent de reproduire pour une grande partie du territoire étudié les intensités réellement observées suite au séisme de Bouin de 1799 (soit une intensité épiscopale VII-VIII et des intensités maximales VIII en zone épiscopale) et qui sont répertoriées dans la base de données Sisfrance. Les résultats obtenus sont ici exprimés à la fois en termes de taux de dommages et de pertes financières et sont respectivement présentés dans le Tableau 6 et le Tableau 7.

Même s'il convient de nuancer la représentativité de cet événement sismique majeur, de période de retour sans doute assez longue, les dommages simulés en prenant en compte le bâti actuel sont conséquents (de l'ordre de 10 000 à 12 000 bâtiments inhabitables au total sur les deux départements), et surtout beaucoup plus importants qu'à l'époque du séisme historique de Bouin, principalement du fait de la forte croissance démographique dans la zone depuis plus de deux siècles. De plus cette

expansion urbaine a majoritairement concerné des terrains de qualité médiocre, où de forts effets de site lithologiques sont attendus en cas de séisme.

Le territoire étudié n'est pas particulièrement plus vulnérable que d'autres au risque sismique. Néanmoins, une grande partie des constructions des deux départements a été réalisée sans application ou prise en compte d'une réglementation parasismique « complète » (Eurocode 8) ou « simplifiée » (PS-MI pour les maisons individuelles). L'effet de la réglementation applicable depuis mai 2011 combiné à la rénovation urbaine aura cependant un effet bénéfique de réduction de la vulnérabilité sur le long terme (Rey *et al.*, 2015).

Les pertes économiques estimées pour un séisme de type de celui survenu en 1799 qui aurait lieu aujourd'hui sont également très importantes, de l'ordre de 1,5 à 2,2 milliards d'euros pour les seules habitations. Le fait que des agglomérations importantes, avec une forte concentration de biens assurés, se situent en zone « dommageable » explique sans doute ces résultats.

Il convient de garder en mémoire que ces résultats ne concernent que les bâtiments d'habitation. Par ailleurs les pertes financières sont celles strictement associées aux dommages couverts dans le cadre du dispositif d'indemnisation français des catastrophes naturelles (dit Cat Nat). Le coût global d'un tel événement serait beaucoup plus important en prenant en compte également les pertes pour les autres bâtiments non-résidentiels, les pertes assurées hors du système Cat Nat ainsi que toutes les pertes économiques indirectes.

## Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Méthodologie des scénarios de risque sismique .....</b>	<b>11</b>
2.1. ORGANISATION GENERALE.....	11
2.2. DEFINITION DE L'AGRESSION SISMIQUE .....	11
2.3. EVALUATION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DU BATI COURANT .....	14
2.3.1. Approche générale.....	14
2.3.2. Cartographie des zones habitées.....	16
2.3.3. Données disponibles.....	18
2.3.4. Méthodologie d'analyse de la vulnérabilité .....	19
2.3.5. Cas d'étude de la Loire-Atlantique (44) .....	21
2.3.6. Cas d'étude de la Vendée (85).....	23
2.4. ESTIMATION DES PERTES FINANCIERES ASSUREES .....	25
2.4.1. Généralités.....	25
2.4.2. Méthode utilisée .....	26
2.4.3. Données utilisées et corrections effectuées .....	26
<b>3. Le séisme de Bouin du 25 janvier 1799 .....</b>	<b>29</b>
3.1. ELEMENTS CONNUS SUR CET EVENEMENT .....	29
3.2. CALAGE DE PARAMETRES DE SCENARIO .....	31
<b>4. Résultats.....</b>	<b>39</b>
4.1. LIMITES DE L'ETUDE.....	39
4.1.1. Séisme de scénario.....	39
4.1.2. Estimation des pertes financières.....	39
4.2. DOMMAGES PHYSIQUES A L'HABITAT .....	40
4.3. LE REGIME FRANÇAIS D'INDEMNISATION DES CATASTROPHES NATURELLES.....	44
4.4. ESTIMATION DES COUTS INDEMNISES POUR CE SCENARIO .....	44
<b>5. Conclusions .....</b>	<b>47</b>

<b>6. Bibliographie .....</b>	<b>49</b>
<b>Annexe 1 - Analyse de la vulnérabilité de la Vendée.....</b>	<b>53</b>

## Liste des figures

Figure 1 - Classification selon le zonage sismique de la France en vigueur depuis mai 2011 de la région Pays de la Loire. Extrait du site planseisme.fr .....	12
Figure 2 - Définition des typologies EMS-98 et des classes de vulnérabilité associée (source : Grünthal et al., 1998).....	16
Figure 3 - Exemple du découpage du centre d'une commune en plusieurs îlots IRIS (exemple de Fontenay-le-Comte, 85).....	17
Figure 4 - Fusion de l'ensemble de carrés (200 m) pour délimiter les zones habitées (exemple de Fontenay-le-Comte, 85).....	18
Figure 5 - Correspondance informant le ministre de l'Intérieur du séisme ressenti à Poitiers le 6 pluviôse An VII (collection centre parisien des archives nationales de France).....	30
Figure 6 - Impression d'écran du catalogue de sismicité historique européen AHEAD.....	32
Figure 7 - Carte des principales failles de la zone de Noirmoutier et de la baie de Bourgneuf (extrait de Limasset et al., 1991).....	33
Figure 8 - Intensités simulées pour le séisme historique de Bouin (Mw=6.4, profondeur 24 km, faille en mer) en prenant en compte des conditions de site (relation d'atténuation de Campbell&Bozorgnia, 2008 et conversion en intensités par relation d'Atkinson&Kaka, 2007). .....	36
Figure 9 - Comparaison des intensités simulées pour le séisme historique de Bouin avec les isoséistes interpolées automatiquement (Rey et al., 2012-2015) .....	37
Figure 10 - Echelle de dommages selon l'EMS98 pour les bâtiments en maçonnerie et en béton armé.....	40
Figure 11 - Estimation des pourcentages de bâtiments présentant des états de dommages D2 et D3 (dommages modérés à importants). Restitution à l'échelle communale. ....	42
Figure 12 - Estimation des pourcentages de bâtiments présentant des états de dommages D4 et D5 (bâtiments fortement endommagés ou détruits). Restitution à l'échelle communale. ....	43
Figure 13 - Exemple d'immeuble de type GC2 au Château-d'Olonne (Google Street View).....	55
Figure 14 - Exemple d'immeuble de type GC4 au Château-d'Olonne (Google Street View).....	56
Figure 15 - Exemple d'immeuble de type PC3 au Château-d'Olonne (Google Street View).....	58

Figure 16 - Exemple d'immeuble de type PC4 aux Sables-d'Olonne (Google Street View) .....59

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Classes de sols selon la réglementation parasismique en vigueur.....13

Tableau 2 - Résumé des classes de vulnérabilité utilisées dans le cadre de cette étude pour le département de la Loire-Atlantique.....23

Tableau 3 - Résumé des classes de vulnérabilité utilisées dans le cadre de cette étude pour le département de la Vendée.....25

Tableau 4 - Paramètres retenus pour la simulation des intensités du séisme de Bouin.....34

Tableau 5 - Comparaison entre les intensités simulées et les intensités recensées dans Sisfrance pour quelques localités proches de l'épicentre.....35

Tableau 6 - Synthèse des résultats des simulations d'endommagement physique. Nombre de bâtiments endommagés selon les classes de dommages et agrégés respectivement pour les deux départements.....41

Tableau 7 - Estimation des coûts assurés pour les habitations (en millions d'euros) évalués par CCR pour les deux départements pour le scénario du séisme de Bouin de 1799.....45



# 1. Introduction

Le BRGM et CCR (Caisse Centrale de Réassurance) ont signé en juin 2014 une convention-cadre pour établir un partenariat de recherche collaborative, destiné à améliorer leur expertise multi-périls des vulnérabilités et la transformation de ces vulnérabilités en approche économique. Eu égard à son intérêt pour les résultats attendus, la DREAL Pays-de-la-Loire apporte par la présente action son concours financier à la réalisation des travaux entrepris par le BRGM et CCR. Dans le cadre de la présente étude une étude complémentaire a été menée : il s'agit d'un scénario de dommages pour les départements de Vendée (85) et de la Loire-Atlantique (44). Le séisme de scénario simulé présente les caractéristiques du séisme historique du 25 janvier 1799 qui est le plus important à avoir touché cette région depuis plusieurs centaines d'années.

Dans cette étude des scénarios de dommages départementaux sont réalisés afin d'évaluer les conséquences financières sur les constructions pour une source sismique donnée. L'évaluation des conséquences financières porte sur le seul périmètre des biens assurés indemnisables dans le cadre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles.

La méthodologie générale des scénarios de risque sismique développée par le BRGM et appliquée dans le cadre des travaux conjoints avec CCR a été utilisée sur le territoire des deux départements de la région Pays-de-la-Loire. Elle consiste à caractériser dans un premier temps l'agression sismique (aléa) qui peut découler d'un événement de référence (séisme historique, séisme fictif) ou d'une évaluation régionale de l'aléa (étude probabiliste, carte réglementaire). Cette agression régionale est ensuite modulée en fonction des effets de site lithologiques ou topographiques locaux. Dans un second temps la méthode vise à inventorier les éléments physiques exposés et à en évaluer la vulnérabilité physique sous forme de fonctions d'endommagement et enfin à calculer les dommages générés par une intensité sismique donnée, ce qui revient à appliquer sur les enjeux, à l'échelle du territoire considéré, l'agression sismique retenue, pour évaluer son impact en termes d'endommagement et de pertes.

Ainsi cette méthodologie des scénarios de risque sismique développée par le BRGM avec CCR est décrite dans le chapitre 2. Ensuite, dans le chapitre 3, le séisme de 1799 est brièvement présenté. Dans le chapitre 4, l'ensemble des résultats obtenus à l'issue de ce scénario sont présentés. Enfin, dans le chapitre 5, les principales conclusions sont formulées à partir de l'analyse de ces résultats.



## 2. Méthodologie des scénarios de risque sismique

### 2.1. ORGANISATION GENERALE

Conformément à l'approche retenue par le BRGM et la CCR, dans la présente étude les scénarios de risque sont définis par la réalisation des actions suivantes :

- Choix de la sollicitation sismique étudiée avec le bénéficiaire des résultats scénario (DREAL Pays-de-la-Loire) ;
- Evaluation par le BRGM des intensités associées à la sollicitation sismique retenue ;
- Estimation par le BRGM de la vulnérabilité des enjeux (habitations collectives et individuelles) ;
- Simulation par le BRGM des dommages engendrés par le séisme à l'aide du logiciel ARMAGEDOM (Sedan *et al.*, 2013) ;
- Evaluation économique par la CCR des biens assurés pour le bâti courant sur la base du scénario choisi.

### 2.2. DEFINITION DE L'AGRESSION SISMIQUE

Selon la réglementation en vigueur depuis mai 2011 (décret n°2010-1254 et 2010-1255 du 22 octobre 2010), la totalité du département de la Vendée et la partie sud du département de la Loire-Atlantique sont situées en zone de sismicité modérée (zone 3) alors que le nord du département de la Loire-Atlantique est situé en zone de sismicité faible (zone 2) (Figure 1).

Lorsque, comme dans le cas présent, une sollicitation déterministe est choisie, il s'agit de reproduire les effets d'un séisme de magnitude, profondeur et localisation donnés. Pour cela les caractéristiques du séisme historique du 25 janvier 1799 seront utilisées dans la présente étude (voir §3.2).

Ensuite des accélérations du sol sont estimées à partir de relations empiriques de propagation du mouvement sismique, selon les paramètres choisis et des paramètres sismologiques (mécanisme de la rupture de faille par exemple).

Ces valeurs en accélération au rocher sont ensuite modulées par les effets de site lithologiques et convertis par la suite en intensité macrosismique EMS98 (voir 2.2).

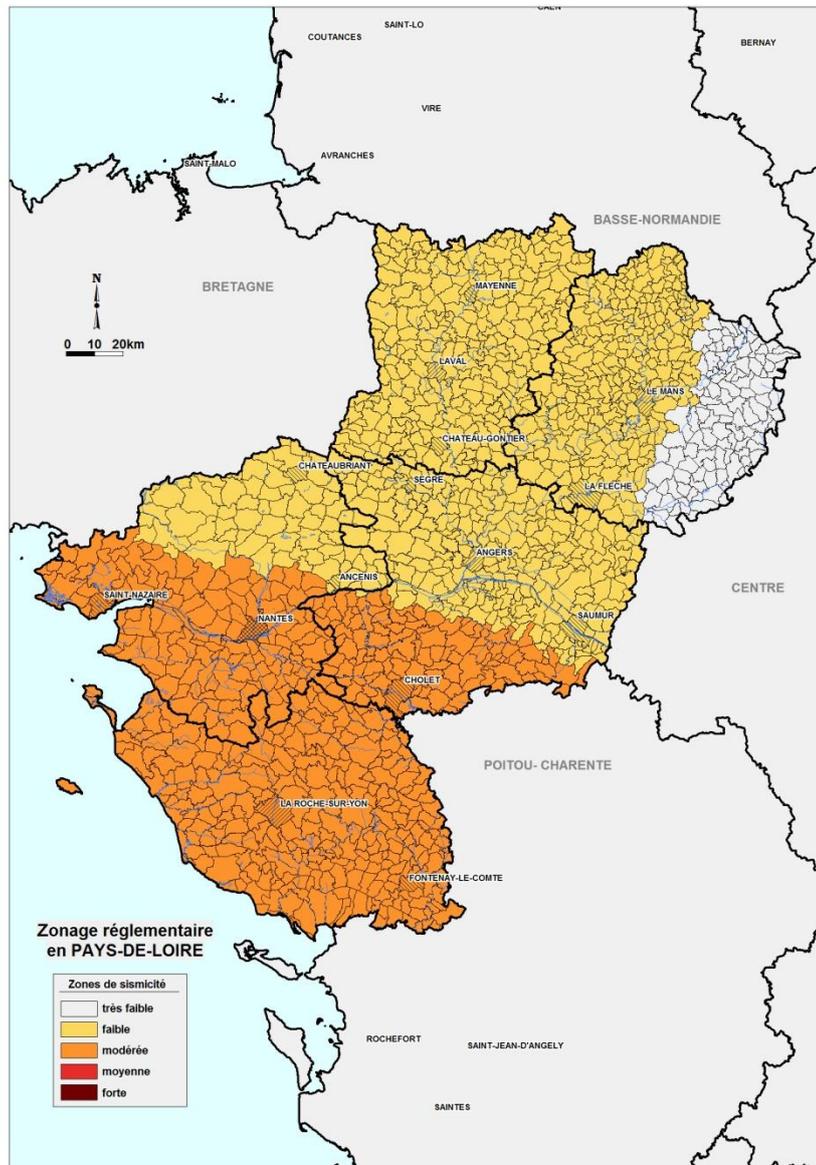


Figure 1 - Classification selon le zonage sismique de la France en vigueur depuis mai 2011 de la région Pays de la Loire. Extrait du site [planseisme.fr](http://planseisme.fr)

Les effets de site lithologiques ont été caractérisés à partir d'une méthode dite de *macrozonage*, qui fait le lien entre les classes de sol selon la réglementation (Tableau 1) et la cartographie géologique au 50 000<sup>ème</sup>. A partir de la cartographie géologique harmonisée des deux départements, il est possible de distinguer les formations géologiques dites de type « rocher » (classe A), des formations meubles (alluvions, colluvions, dunes, etc.). Ensuite, ces formations meubles sont caractérisées notamment en termes d'épaisseur via la consultation de la base de données du sous-sol (BSS), qui donne des informations sur des sondages géologiques/géotechniques, et sont liées par la suite à une classe de sol par un critère à dire d'expert. En Loire-

Atlantique ce travail a bénéficié des travaux de Rey *et al.* (2009) faits au niveau de la commune de Nantes.

Finalement, la cartographie géologique des deux départements étudiés est convertie en cartographie des classes de sol, et les coefficients d'amplification des spectres de dimensionnement proposés par la réglementation sont ceux pris en compte dans le calcul du scénario de dommages.

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 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 <sub>1</sub>	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 1 à m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé ( $PI > 40$ ) et une teneur en eau importante.	< 100 (valeur indicative)	–	10 - 20
S <sub>2</sub>	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S <sub>1</sub>			

Tableau 1 - Classes de sols selon la réglementation parasismique en vigueur.

Pour évaluer l'impact d'une agression sismique, en termes d'endommagement du bâti (voir §2.3.1), celle-ci doit être exprimée sous la forme d'intensités produites par le séisme. La conversion des accélérations en intensités macrosismiques est classiquement réalisée selon une relation empirique. Dans la présente étude la relation d'Atkinson et Kaka (2007) a été utilisée :

$$I = -1.91 + 4.09 \log(PGA) \text{ pour } I \geq V,$$

$$I = 2.65 + 1.39 * \log(PGA) \text{ pour } I < V$$

$$\text{pour un PGA en gal ou cm.s}^{-2}$$

## 2.3. EVALUATION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DU BATI COURANT

### 2.3.1. Approche générale

Dans la présente étude l'ensemble du parc bâti à usage d'habitation a été classé selon la méthode RISK-UE (Mouroux *et al.*, 2004), permettant une évaluation de la vulnérabilité selon les critères de l'Echelle Macrosismique Européenne (EMS98).

La vulnérabilité d'un bâtiment représente ses possibilités d'endommagement par rapport à l'agression sismique. Elle s'évalue par une estimation des différents niveaux de dommages que ce bâtiment subirait pour différents niveaux d'agression sismique, soit sous forme de paramètres du mouvement sismique (accélération, vitesse), soit sous forme d'intensité macrosismique. La courbe qui met en relation l'agression sismique et le comportement du bâtiment est appelée « fonction d'endommagement » ou « fonction de vulnérabilité ».

La réponse dynamique de la structure à un séisme est très complexe, dépendant d'un nombre important de paramètres qu'il est difficile, voire impossible, d'évaluer individuellement avec précision. Ces paramètres incluent : la résistance des matériaux utilisés dans la structure, la qualité de la construction, la nature et l'état des éléments structuraux analysés individuellement et au niveau de la construction prise dans son ensemble, l'interaction entre les éléments structuraux et non structuraux, le poids total du bâtiment à l'instant du tremblement de terre, et d'autres facteurs. Ceux-ci sont de plus dépendants des caractéristiques du signal sismique, au-delà de son intensité (durée, contenu spectral...).

La majorité de ces facteurs peut être estimée, mais jamais connue avec précision. En conséquence, les fonctions de vulnérabilité qui sont établies présentent toujours une part d'incertitude qu'il est important de ne pas oublier.

La méthode Risk-UE est basée sur une corrélation statistique entre l'intensité macrosismique et le dommage apparent, décrit en termes de degré de dommage. Le fondement de cette méthode repose sur une exploitation de la méthode d'évaluation des intensités de l'Echelle Macrosismique Européenne (Grünthal *et al.*, 1998).

L'EMS98 a introduit les notions de conception des structures dans la prise en compte de la vulnérabilité des structures, en distinguant le degré de conception parasismique (sans, moyen, bon) pour les structures en béton, et les systèmes de renforcement employés pour les structures en maçonnerie. Dans la typologie des EMS98, à chaque type de construction est attribuée une classe de vulnérabilité la plus probable (avec son incertitude). Il s'agit donc d'un tableau à double entrée avec :

- 1) une typologie simplifiée des bâtiments, Les types de bâtiments sont classés en fonction de leurs groupes principaux: maçonnerie, béton armé, acier et bois.
- 2) une classification de niveau de vulnérabilité en six classes avec (Figure 2), de la plus vulnérable à la plus résistante :

- Les classes A, B et C, qui représentent la résistance d'une maison «typique» en briques crues, d'un bâtiment de brique et d'une structure en béton armé.
- Les classes D et E, prévues pour représenter approximativement la décroissance linéaire de la vulnérabilité en fonction de l'amélioration du degré de conception parasismique. Ces deux classes conviennent également pour les structures en bois, en maçonnerie renforcée ou chaînée et les structures en acier qui sont bien connues pour leur résistance à l'action sismique.
- La classe F, censée représenter la vulnérabilité d'une structure avec un bon degré de conception parasismique, c'est-à-dire la structure ayant le meilleur degré de résistance aux séismes grâce aux principes de conception pris en compte.

Type de structure	Classe de vulnérabilité						
	A	B	C	D	E	F	
MAÇONNERIE	Moellon brut, pierre tout venant	○					
	Brique crue (adobe)	○	—				
	Pierre brute	○	—				
	Pierre massive			○	—		
	Non renforcée, avec des éléments préfabriqués			○	—		
	Non renforcée, avec des planchers en béton armé			○	—		
	Renforcée ou chaînée				○	—	
BÉTON ARMÉ	Ossature sans conception parasismique (CPS)			○	—		
	Ossature avec un niveau moyen de CPS			○	—		
	Ossature avec un bon niveau de CPS				○	—	
	Murs sans CPS			○	—		
	Murs avec un niveau moyen de CPS			○	—		
	Murs avec un bon niveau de CPS				○	—	
ACIER				○	—		
BOIS				○	—		

○ Classe de vulnérabilité la plus probable; — Intervalle probable;  
 ..... Intervalle de probabilité plus faible, cas exceptionnels

Figure 2 - Définition des typologies EMS-98 et des classes de vulnérabilité associée (source : Grünthal et al., 1998).

### 2.3.2. Cartographie des zones habitées

La cartographie des zones habitées constitue une première étape pour l'élaboration des scénarios de dommages. En effet, et même à cette échelle de travail, la localisation des zones à enjeux a son importance.

L'INSEE<sup>1</sup> a publié en 2013 une couche SIG cartographiant la population recensée, restituée par mailles carrées de 200 mètres. Cette couche géographique a été considérée ici comme une cartographie fine des zones habitées et construites. En-dehors du périmètre cartographié par l'INSEE, on considèrera, comme cela est supposé/préconisé par l'INSEE, qu'il n'y a pas d'habitations et donc pas d'habitants concernés.

Par la suite cette cartographie a été superposée au découpage infra-communal des îlots IRIS fournis également par l'INSEE (Figure 3 et Figure 4). Nous rappelons que le découpage infra-communal est celui qui donne le plus d'informations sur le nombre de logements (avec la différenciation entre maison individuelle et collectif) et les années/âges de construction.

Cette couche résultat sera nommée « Occupation du sol » par la suite et sera la donnée d'entrée du modèle pour ce qui concerne les enjeux.



Figure 3 - Exemple du découpage du centre d'une commune en plusieurs îlots IRIS (exemple de Fontenay-le-Comte, 85).

---

<sup>1</sup> [http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg\\_id=0&ref\\_id=donnees-carroyees](http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=0&ref_id=donnees-carroyees)

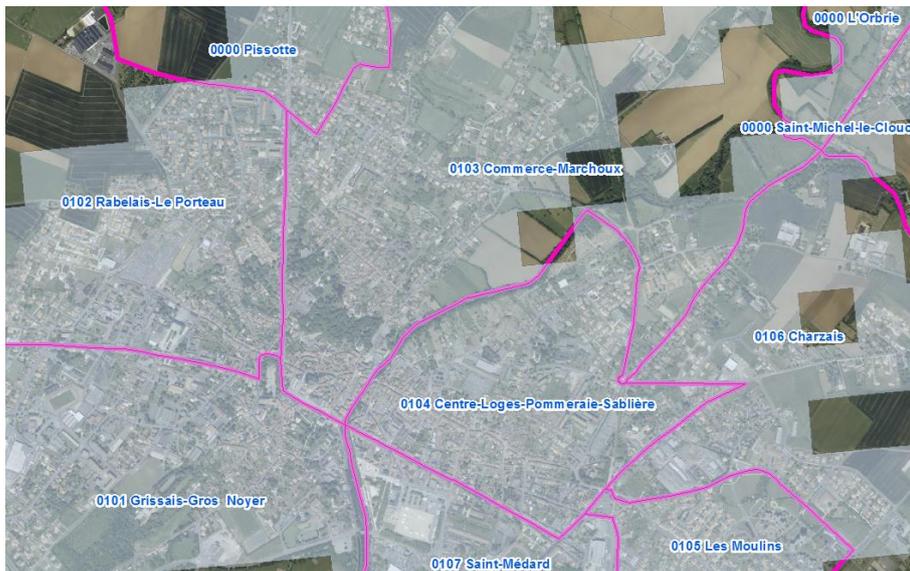


Figure 4 - Fusion de l'ensemble de carrés (200 m) pour délimiter les zones habitées (exemple de Fontenay-le-Comte, 85).

### 2.3.3. Données disponibles

Quatre sources de données ont été combinées pour fournir certaines informations nécessaires aux évaluations de vulnérabilité :

- Les Données Infra-communales 2008 – Logement de l'INSEE. Il s'agit de la dernière version de cette base de données contenant des informations sur la période de construction des logements. Les versions plus récentes à 2008 ne sont donc pas pertinentes pour ce type d'analyse si l'on s'intéresse aux âges de construction.
- Le Répertoire d'Immeubles Localisés (RIL) de l'INSEE. Cette couche de données contient, généralement pour les communes de plus de 5000 habitants, une description bâtiment par bâtiment avec l'âge, le nombre d'étages et le nombre de logements. Cette donnée propriétaire a été achetée par CCR dans le cadre de la collaboration CCR-BRGM. Le BRGM n'a pas accès à la donnée directe, mais a la possibilité de faire des requêtes et d'obtenir des données traitées préalablement par la CCR.
- En l'absence de mission sur le terrain, le service StreetView du site web GoogleMaps a permis un diagnostic visuel sommaire de quelques bâtiments dans les communes ciblées.
- Le rapport « L'évolution des parts de marché des produits et matériaux de la construction », de l'Observatoire de la Qualité de la Construction (AQC, 2009), qui contient des spécificités sur les matériaux de construction de différents types de bâtiment au niveau départemental.
- Etudes précédentes faites par le BRGM, comme le prédiagnostic de microzonage de la ville de Nantes (Rey *et al.*, 2009).

Les données RIL sont disponibles :

- dans le 44 pour tous les îlots IRIS dans les communes de Bouguenais (44020), Carquefou (44026), La Chapelle sur Erdre (44035), Châteaubriant (44036), Coueron (44047), La Baule-Escoubiac (44055), Guérande (44069), Nantes (44109), Orvault (44114), Pornic (44131), Pornichet (44132), Rezé (44143), Saint-Brevin-les-Pins (44154), Saint-Herblain (44162), Sainte-Luce-sur-Loire (44172), Saint-Nazaire (44184), Saint-Sébastien-sur-Loire (44190) et Vertou (44215) ;
- dans le 85 pour tous les îlots IRIS dans les communes de Challans (85047), Château d'Olonne (85060), Fontenay-le-Comte (85092), Les Herbiers (85109), Olonne-sur-Mer (85166), La Roche-sur-Yon (85191), Les Sables d'Olonne (85194) et Saint-Hilaire de Riez (85226).

Cette collecte de données a finalement permis de rassembler des informations sur le nombre d'enjeux exposés ainsi que des données factuelles (type habitation, âge, techniques de construction à niveau régional...). Le sous-chapitre ci-dessous expose comment ces informations sont interprétées pour établir l'analyse de la vulnérabilité à l'échelle territoriale. Il convient de garder en mémoire que les incertitudes associées à cette échelle de travail départementale sont plus importantes que dans le cas d'une analyse fine de terrain portant sur quelques bâtiments.

#### **2.3.4. Méthodologie d'analyse de la vulnérabilité**

Nous avons ainsi adopté un mode de travail adapté aux données disponibles, qui comprend deux étapes : dans un premier temps nous identifions les grandes catégories d'enjeux vulnérables à partir des grands traits disponibles dans les données (à savoir la tranche d'âge et le nombre de logements par bâtiment) et nous établissons le nombre de bâtiments et logements compris dans chacune de ces catégories pour chaque îlot IRIS. Dans un second temps, nous définissons un indice de vulnérabilité pour chaque catégorie, au moyen d'une analyse plus détaillée des pratiques de construction locales.

La première étape, c'est-à-dire, la répartition du total des logements par îlot IRIS en grandes catégories de vulnérabilité, est la suivante :

1. Les Données Infra-communales constituent la base de travail, contenant le nombre total d'habitants et de logements principaux et secondaires par îlot IRIS. Les logements principaux sont divisés en **logements individuels et collectifs** (1<sup>ère</sup> distinction) et selon **quatre tranches d'âge** (2<sup>ème</sup> distinction) proposées par l'INSEE (avant 1949 ; 1949-1974 ; 1975-1990 ; 1990-actuel). A noter que cette base fournit uniquement le nombre de logements, et pas le nombre de bâtiments. Pour l'habitat individuel, un logement correspond à un bâtiment, mais pour le bâti collectif il sera nécessaire par la suite d'estimer le nombre de bâtiments collectifs pour chaque îlot IRIS à partir du nombre de logements collectifs.

2. Une 3<sup>ème</sup> distinction est faite entre les **bâtiments collectifs de petite-moyenne hauteur et grande hauteur**, paramètre qui influence leur comportement dynamique mais aussi leur mode de construction et leur localisation à l'intérieur de la ville. On estime à dire d'expert qu'à partir de 5 étages un bâtiment est considéré comme un « grand collectif », valeur seuil aussi utilisé par Riedel *et al.* (2014) par exemple. Cette distinction double le nombre de types de bâtiment collectif pour chaque tranche d'âge (à ce stade il y a donc 4 classes de vulnérabilité pour les maisons individuelles et 8 classes pour le bâti collectif, soit un total de 12 classes).
3. Dans les îlots IRIS où des données RIL sont disponibles, c'est la donnée RIL qui prime sur les données infra-communales. La donnée RIL donne le nombre de bâtiments, le nombre de logements correspondants et le nombre d'étages, permettant de faire la distinction entre « grand » et « petit » collectif. Cela veut dire qu'avec une requête sur les données RIL, il est possible d'obtenir toutes les données nécessaires en préalable à notre étude.
4. Dans les îlots IRIS où les données RIL ne sont pas disponibles, le pourcentage de grand collectif et un nombre moyen de logements par bâtiment collectif est établi à dire d'expert pour chaque catégorie en extrapolant le nombre de logements par bâtiment moyen disponible dans les RIL. En général cette situation correspond à des communes de taille petite-moyenne, où les bâtiments de grande hauteur sont extrêmement rares voire inexistants.
5. Finalement, les résidences secondaires indiquées dans les données infra-communales mais où les données RIL ne sont pas disponibles, sont réparties proportionnellement entre les 12 classes de vulnérabilité. Il s'agit d'une hypothèse sans doute conservatrice, mais qui est justifiée par le faible pourcentage de résidences secondaires par rapport au total des bâtiments sur la grande majorité des communes, à l'exception des communes littorales.

La deuxième étape consiste à déterminer des indices de vulnérabilité qui caractérisent le comportement de chacune de ces 12 classes de vulnérabilité. Comme ces classes sont basées principalement sur l'âge et la hauteur des bâtiments, elles peuvent comprendre des bâtiments construits avec différentes techniques de construction, ce qui doit être pris en compte dans l'analyse. Le rapport « L'évolution des parts de marché des produits et matériaux de la construction », de l'Observatoire de la Qualité de la Construction (AQC, 2009), donne des informations sur les matériaux et les techniques de construction employées au niveau du département, ce qui donne une première idée de leur vulnérabilité. Par la suite, ces informations sont complétées par une visite virtuelle de la zone d'étude grâce au service StreetView de GoogleMaps, qui permet de constater les spécificités locales dans la conception des bâtiments susceptibles d'influencer la vulnérabilité. L'expert suit ensuite la procédure RISK-UE pour établir des indices de vulnérabilité : il définit d'abord un indice de base  $V_i^*$  correspondant au type structurel selon les abaques RISK-UE et évalue ensuite l'influence des facteurs aggravants (ou bénéfiques) identifiés avec un incrément (ou une diminution) d'indice  $\Delta V_m$ . L'indice de vulnérabilité final est la somme de ces deux valeurs.

### 2.3.5. Cas d'étude de la Loire-Atlantique (44)

La procédure présentée ci-dessus de dénombrement des enjeux et d'attribution des classes de vulnérabilité a été appliquée au département de la Loire-Atlantique.

Il s'agit d'abord d'apprécier les périodes durant lesquelles les catégories de constructions à usage d'habitation, II et III, étaient soumises à l'application de la réglementation parasismique, soit PS-92, soit EC-8. La réglementation de 2011 classe la moitié sud-ouest du département en sismicité modérée (Figure 1), ce qui implique l'application de la réglementation pour les maisons individuelles et immeubles collectifs construits dans les cinq dernières années. Cette étude étant basée sur des données statistiques INSEE 2012 qui n'incluent pas les cinq dernières années, nous considérons que la réglementation a été peu appliquée au bâti individuel et collectif. En revanche, la réglementation précédente (PS92), classait les cantons de Machecoul, Saint-Philbert-de-Grand-Lieu et Bourgneuf-en-Retz en sismicité 1a (sismicité très faible mais non négligeable). Pour ces zones, les PS92 s'appliquaient pour des bâtiments de catégorie d'importance III et IV. En conséquence, les immeubles d'habitat collectif de grande hauteur dans ces trois cantons seraient concernés par la réglementation PS92.

Rey *et al.* (2009) avaient réalisé un pré-diagnostic de microzonage de la ville de Nantes en présentant succinctement la vulnérabilité du bâti collectif nantais. Cette étude pointait en particulier les faits suivants :

- Le bâti du centre ancien présente des murs en maçonnerie, mélange de pierres de taille (angles, encadrements) et pierres appareillées. La classe de vulnérabilité la plus pénalisante, A, n'avait pas été considérée dans le cas nantais. Ces bâtiments, immeubles d'habitat collectif, présentent entre 3 et 5 niveaux.
- Les quartiers, construits durant les années 1960-70, présentent une grande utilisation des systèmes porteurs en béton armé. Ces structures sont considérées comme sans conception parasismique spécifique.
- La rénovation urbaine très récente de certains quartiers de Nantes, avec la construction d'immeubles de moyenne-grande hauteur (Ile de Nantes). On peut supposer qu'une partie de ces immeubles a été réalisée selon des règles parasismiques (la portion la plus récente d'entre eux).

Au niveau du département ces observations spécifiques à Nantes doivent être nuancées. Des villes comme Saint-Nazaire présentent un grand nombre de constructions d'après-guerre, conséquences de la reconstruction après les bombardements. On y trouve des immeubles d'habitat collectif de centre-ville, avec des systèmes en béton armé et éléments de façade comme la pierre, les briques et le béton préfabriqué. Du point de vue de la vulnérabilité sismique, ces constructions des années 1950 appartiennent à la classe C, constructions en béton armé sans conception parasismique.

Des villes de la périphérie de Nantes (Couëron, Saint-Herblain, Orvault...) présentent un grand nombre de constructions de type pavillonnaire, relativement récentes (moins de 40 ans). Le système porteur prépondérant de ces maisons est la maçonnerie (en brique ou bloc béton). Pour ce type de constructions il a été considéré que la réglementation parasismique n'a jamais été appliquée dans le département.

L'habitat traditionnel de la Loire-Atlantique utilise les matériaux de construction propres à la région (granites et schistes). Les grands bâtiments construits en maçonnerie sont finalement un type très spécifique du centre ville de Nantes ; dans le reste du département la majorité de bâtiments anciens (d'avant-guerre) dépassent rarement les trois niveaux, comme par exemple dans le bourg historique de Guérande.

En définitive, une grande majorité de l'habitat du département n'a pas été construite selon une réglementation parasismique. Malgré cela, il existe une hiérarchisation de la vulnérabilité vis-à-vis des séismes. Le tableau 2 résume les correspondances entre les 12 typologies de constructions et les classes de vulnérabilité EMS98.

L'habitat ancien (avant-guerre), construit en maçonnerie à l'ancienne (murs de pierre appareillée, parfois taillée), reste le type le plus vulnérable (classes EMS98 A et B).

L'habitat individuel d'après-guerre est construit globalement en maçonnerie non-renforcée (classes EMS98 B et C).

Les constructions en béton armé anciennes et récentes présentent l'évolution technique de ce type de construction au cours des 60 dernières années. Même si la réglementation parasismique n'a pas été largement appliquée, la généralisation des systèmes porteurs en voiles béton induit une diminution de la vulnérabilité de ce type de constructions. En termes de classes de vulnérabilité EMS98, ces immeubles se situent entre C et D.

	Code	EMS98	Age	Description et facteurs de vulnérabilité
<b>Maisons individuelles</b>	MI1	A-B	pré 1949	Maçonnerie en pierre (granites, schistes...). Harpage aux angles, murs en pierre appareillée, parfois tout-venant.
	MI2	B	1950 – 1974	Maisons en maçonnerie avec planchers principalement en poutrelles et bois.
	MI3	B-C	1975 – 1989	Evolution vers moins de planchers en bois, valeur intermédiaire "B-C"
	MI4	B-C	1990 – 2005	Maçonnerie a priori non chaînée, sans application PS-MI. Planchers poutrelles-entrevous.
<b>Grand collectif</b>	GC1	B	pré 1949	Type spécifique centre-ville Nantes. Murs mélange pierres de taille & pierres appareillées. Inexistant en dehors de Nantes.
	GC2	B-C	1950 – 1974	Murs ou systèmes poteaux-poutres en béton, contreventement insuffisant, âge

<b>(&gt;5 étages)</b>				et période de construction pré-code, grande hauteur
	GC3	C	1975 – 1989	De plus en plus de murs en béton, grande hauteur, sans conception parasismique
	GC4	C-D	1990 – 2005	Murs en béton, grande hauteur, peu de conception parasismique
<b>Petit collectif (≤5 étages)</b>	PC0	B	pré 1949	Type du centre-ville de Nantes, murs en pierres appareillées et pierres de taille.
	PC1	A-B	pré 1949	Maçonnerie en pierre moins régulière pour le reste du département
	PC2	B-C	1950 – 1974	Mélange entre bâtiments en maçonnerie non renforcée et structures en béton armé (poteaux-poutres) sans conception parasismique.
	PC3	C-D	1975 – 1989	Murs en béton, sans dimensionnement parasismique.
	PC4	C-D	1990 – 2005	Murs en béton, minimum de conception parasismique.

Tableau 2 - Résumé des classes de vulnérabilité utilisées dans le cadre de cette étude pour le département de la Loire-Atlantique.

### 2.3.6. Cas d'étude de la Vendée (85)

L'analyse de la vulnérabilité du bâti courant de la Vendée est détaillée dans le rapport de Rey *et al.* (2015) et est présentée en annexe 1. Le département 85 présente quelques particularités qu'il était nécessaire de prendre en compte en vue de dénombrer les enjeux et d'établir les classes de vulnérabilité :

En premier lieu, le nombre extrêmement faible de bâtiments identifiés comme grands collectifs (plus de 5 étages) datant d'avant 1949 rend cette classe négligeable. Elle disparaît du classement.

Deuxièmement, des différences marquées sont constatées entre les bâtiments construits avant 1949 (maisons individuelles et petit collectif) dans les centres historiques et dans le reste du territoire. Deux nouvelles classes de vulnérabilité, MIO et PC0, sont introduites pour refléter cette particularité.

Finalement, l'hypothèse de répartition proportionnelle de l'habitat secondaire par rapport à l'habitat principal n'est plus applicable : le développement du tourisme dans le 85 résulte en de nombreux îlots IRIS où la proportion de résidences secondaires est très élevée et dépasse même les résidences principales. En Vendée les logements secondaires représentent un pourcentage tellement élevé (29%), qu'il devient impératif

de les traiter séparément. Cependant, les Données Infra-communales de l'INSEE ne donnent pas d'informations sur l'âge ou la typologie des logements secondaires, seul leur nombre total est connu.

Nous nous sommes alors basés sur des données recueillies lors de visites de terrain effectuées pendant le projet JOHANNA (André, 2013) pour établir des hypothèses sur les catégories d'âge :

Dans les îlots IRIS avec un nombre élevé de bâti historique (>25% construit avant 1949), nous avons supposé que :

- 50% des résidences secondaires datent d'avant 1949
- 15% des résidences secondaires datent d'entre 1950 et 1974
- 5% des résidences secondaires datent d'entre 1975 et 1989
- 30% des résidences secondaires datent d'après 1990

Dans le reste des îlots IRIS, la plupart des résidences secondaires sont très récentes et nous avons supposé que :

- 15% des résidences secondaires datent d'avant 1949
- 10% des résidences secondaires datent d'entre 1950 et 1974
- 5% des résidences secondaires datent d'entre 1975 et 1989
- 70% des résidences secondaires datent d'après 1990

Par ailleurs il n'y a aucune source disponible qui puisse nous aider à déceler des informations sur le type d'habitat : maison individuelle, petit collectif ou grand collectif. Par défaut, nous avons gardé l'hypothèse que les répartitions entre ces trois types d'habitat sont les mêmes que pour les résidences principales.

L'analyse détaillée est consultable en Annexe 1.

Au final, le parc bâti de la Vendée est classé de la manière suivante (Tableau 3):

	Code	EMS98	Age	Description et facteurs de vulnérabilité
<b>Maisons individuelles</b>	MI0	B	pré 1949	Maçonnerie en pierre régulière de Fontenay
	MI1	A-B	pré 1949	Maçonnerie en pierre moins régulière du reste du département
	MI2	B	1950 – 1974	Maisons en maçonnerie avec planchers principalement en poutrelles et bois
	MI3	B-C	1975 – 1989	Evolution vers moins de planchers en bois, valeur intermédiaire "B-C"
	MI4	B-C	1990 –	Maçonnerie a priori non chaînée, sans application PS-MI. Planchers poutrelles-

			2005	entrevous.
<b>Grand collectif</b> (>5 étages)	GC2	B	1950 – 1974	Murs en béton, contreventement insuffisant, âge et période de construction pré-code, grande hauteur
	GC3	C	1975 – 1989	Murs en béton, contreventement insuffisant, grande hauteur
	GC4	C-D	1990 – 2005	Murs en béton, grande hauteur, minimum de conception parasismique
<b>Petit collectif</b> (≤5 étages)	PC0	B	pré 1949	Maçonnerie en pierre régulière de Fontenay
	PC1	A-B	pré 1949	Maçonnerie en pierre moins régulière du reste du département
	PC2	B-C	1950 – 1974	Murs en béton, contreventement insuffisant, âge et période de construction pré-code, grande longueur en absence de joints parasismiques
	PC3	B-C	1975 – 1989	Murs en béton, grande longueur en absence de joints parasismiques, absence de dimensionnement parasismique
	PC4	C	1990 – 2005	Murs en béton, grande longueur en absence de joints parasismiques, minimum de conception parasismique

Tableau 3 - Résumé des classes de vulnérabilité utilisées dans le cadre de cette étude pour le département de la Vendée

## 2.4. ESTIMATION DES PERTES FINANCIERES ASSUREES

### 2.4.1. Généralités

La modélisation des coûts assurés à partir des résultats de simulation en sortie d'ARMAGEDOM a été réalisée par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR). Une modélisation de ces coûts est ainsi établie à partir des distributions probabilistes des états d'endommagements en sortie de simulation ARMAGEDOM, à la résolution de la zone IRIS, et en exploitant les données que CCR collecte dans le cadre de ses relations contractuelles bilatérales exclusives avec ses clients, les sociétés d'assurance opérant sur le territoire national métropolitain ou ultra-marin, notamment la géolocalisation des enjeux et les valeurs assurées de ces derniers. Des matrices de passage « endommagement ⇔ taux de destruction » sont établies dans l'état de l'art et en exploitant les données issues des études de vulnérabilité.

Pour les deux départements modélisés et pour le scénario considéré, ont été évalués, pour chaque typologie de bâti considéré et pour chaque état d'endommagement modélisé via ARMAGEDOM, les coûts probables associés selon la résolution N0 des zones IRIS.

#### **2.4.2. Méthode utilisée**

La méthodologie utilisée a été développée en 2014 dans le cadre du partenariat de recherche collaborative entre CCR et le BRGM pour la période 2014-2019. Pour plus de renseignements sur la méthodologie mise en place et pour d'autres exemples d'application, on se reportera aux rapports de synthèses des résultats obtenus dans le cadre de ce partenariat (Rey et Tinard, 2015a, 2015b et 2015c).

Les résultats obtenus à l'échelle des îlots IRIS de l'INSEE sont ensuite agrégés à l'échelle du département pour des raisons de confidentialité des données utilisées.

#### **2.4.3. Données utilisées et corrections effectuées**

Les endommagements probabilisés par niveaux de dommages (D0 à D5) en sortie des simulations réalisées avec Armagedom (voir §2.3) sont utilisés pour estimer les pertes assurées dans le cadre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles. Au niveau de la modélisation des dommages, une distinction est faite entre les enjeux de type « maisons individuelles » et les enjeux de type « habitats collectifs », ceux-ci présentant des typologies assurantielles différentes.

CCR convertit les taux de dommages  $D_i$  (D0 à D5) en taux de destruction aussi bien pour le bâti que pour son contenu, pour les typologies maisons individuelles et habitats collectifs, en se basant sur des données de la littérature (par exemple HAZUS-MH MR4 2009, ATC-13, Whitman *et al.* 1973, 1997 ou Devaux *et al.* 2009), ainsi que sur la base des sinistres séismes survenus depuis 1982 (date de mise en place du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en France métropolitaine). Ces dernières sont collectées par CCR dans le cadre de ses relations contractuelles bilatérales avec les compagnies d'assurance opérant sur le territoire français et délivrant à leurs assurés la couverture Catastrophes Naturelles.

Pour chaque îlot IRIS ou chaque commune modélisée lors d'un scénario sismique, les pertes sont évaluées sur l'ensemble des enjeux assurés (garantie Cat Nat, voir §4.3). CCR dispose à ce titre de deux types d'informations :

1/ dans le cadre de ses relations contractuelles bilatérales avec les compagnies d'assurance, CCR collecte, en plus des sinistres, des informations sur les enjeux et notamment l'adresse, géocodée par CCR, ainsi que la nature et l'usage de l'enjeu assuré : maisons / appartements / immeubles – propriétaire occupant, locataire, propriétaire non-occupant / copropriété.

2/ les capitaux assurés déclarés par les compagnies d'assurance pour les enjeux assurés qu'elles déclarent auprès de CCR. Ces capitaux assurés sont déclinés en

capitaux du bâti et capitaux du contenu s'agissant des enjeux hébergeant des particuliers.

Cependant, l'exhaustivité des enjeux assurés d'une commune ou d'une zone IRIS n'est pas garantie malgré les données collectées. Pour revenir à une situation à 100%, CCR extrapole les pertes modélisées sur la base des enjeux dénombrés dans les données des compagnies d'assurance pour aboutir à une vision dite « marché » regroupant la totalité des enjeux assurés en France. CCR dispose pour ce faire d'un portefeuille marché établi sur diverses bases de données notamment celles de l'INSEE, la BD TOPO® de l'IGN, Sit@del ou Perval.

Enfin, afin d'harmoniser les données fournies par les cédantes et attendu que celles-ci sont parfois parcellaires concernant les capitaux assurés, CCR évalue les capitaux assurés de tous les enjeux assurés en France pour ceux hébergeant des particuliers. Cette estimation, basée notamment sur les données déclarées par les compagnies d'assurance, permet de corriger certaines différences existant entre les compagnies d'assurances selon leurs cibles de souscription i.e. segments de clientèles différents, compagnies régionalisées, mutuelles ou sociétés d'assurance.

Les pertes estimées à la résolution de l'IRIS ou de la commune sont ensuite agrégées à l'échelle départementale pour des raisons de confidentialité.



## 3. Le séisme de Bouin du 25 janvier 1799

### 3.1. ELEMENTS CONNUS SUR CET EVENEMENT

Une monographie succincte du séisme survenu le 25 janvier 1799 dit « du marais Breton Vendéen » (Lambert 2013) est disponible sur le site SisFrance et recense les éléments recueillis au sujet de cet événement. Cette monographie est téléchargeable en ligne<sup>2</sup>.

Les principaux éléments de cette monographie sont repris ici pour présenter ce qui constitue le plus important séisme survenu dans l'Ouest de la France selon les archives historiques, au moins depuis le XVII<sup>ème</sup> siècle.

Le 6 pluviôse de l'an VII de la République (25 janvier 1799), vers 4 heures du matin, le grand ouest de la France est subitement ébranlé, sans signe avant-coureur. Le choc est ressenti de la Bretagne à la Normandie, du Berry à l'Anjou et à la Touraine, du Limousin au Poitou, de la Saintonge à l'Aunis et au Bordelais, mais également dans certaines parties de l'Auvergne et du Morvan et jusqu'à l'Île-de-France.

L'étude des documents d'archives (voir par exemple Figure 5) permettra de proposer une localisation : dans le marais Breton Vendéen entre Barbâtre à l'entrée de l'île de Noirmoutier et Bouin, Machecoul ou La Garnache sur le continent. Dans ces communes les dommages sont sans doute conséquents. Ainsi est-il écrit dans plusieurs sources historiques que « *Jamais de mémoire d'homme n'a-t-on subi pareille secousse* » pour décrire le ressenti de la secousse dans ces localités.

À Bouin la durée de la secousse fut d'une « *demi-minute* ». Par la suite, plusieurs répliques surviendront dans le secteur entre Bouin et Machecoul et ce jusqu'au 6 février, les plus fortes d'entre elles se faisant sentir jusqu'à Nantes et aux Sables-d'Olonne.

Les effets les plus importants sont relevés dans le marais, sans doute en raison de la nature médiocre des sols engendrant des effets de site localisés. C'est la raison pour laquelle la localisation de l'épicentre a pendant longtemps été proposée dans le marais. Mais des études plus récentes penchent plutôt pour une faille en mer qui aurait produit des mouvements importants sur l'île de Noirmoutier et sur le continent proche. Les intensités les plus fortes, de l'ordre de VIII, sont identifiées dans le marais, sans doute du fait d'effets de site amplifiant localement les mouvements, l'intensité épiscopentrale étant évaluée à VII-VIII. En s'éloignant de la zone épiscopentrale les intensités diminuent progressivement. Des intensités de VI-VII sont ainsi relevées à Nantes ou aux Sables-d'Olonne. Des dommages légers sont encore notés à la Rochelle ou sur l'île d'Oléron mais également à Belle-Ile (intensité VI). Les ondes sismiques s'atténuent

---

<sup>2</sup> <http://www.sisfrance.net/documentsisfrance/Seisme%20Marais%20Breton%201799.pdf>

ensuite plus fortement avec la distance mais le séisme est parfaitement ressenti, générant même une frayeur pour certains habitants (intensité IV à V) de Tours à Guernesey, de Vannes à Châteauroux ou encore de Rennes à Limoges. Enfin le séisme est ressenti faiblement (intensité inférieure à III) à très grandes distances comme à Paris, Bordeaux ou encore à Caen.

Cette aire de perception très large suggère une magnitude très forte (comparativement aux magnitudes des séismes de cette région) et une profondeur sans doute importante.

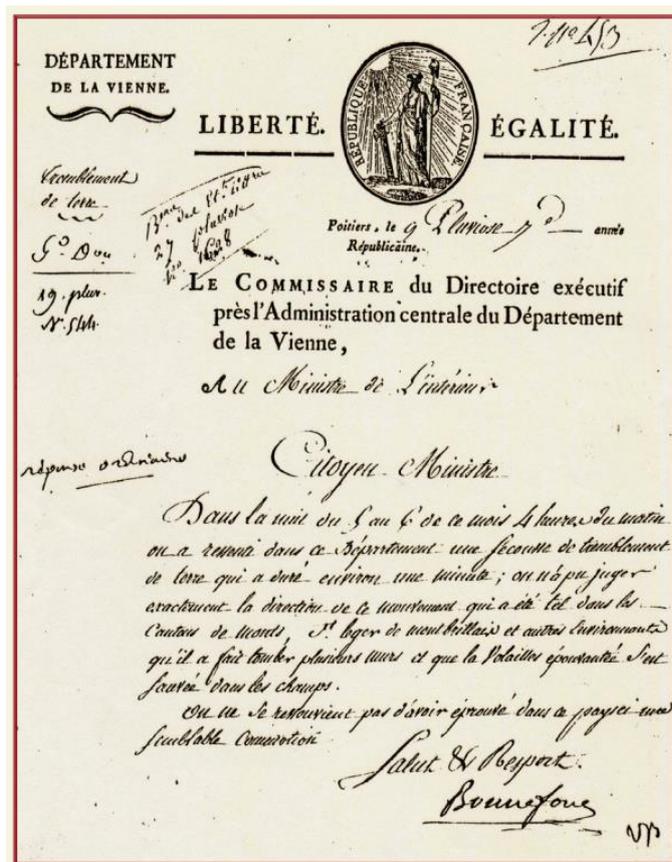


Figure 5 - Correspondance informant le ministre de l'Intérieur du séisme ressenti à Poitiers le 6 pluviôse An VII (collection centre parisien des archives nationales de France)

Dans la base de données SisFrance (2015), 99 observations sont consignées et permettent d'attribuer des intensités quantifiées pour 65 d'entre elles. Pour les observations restantes, la seule information utilisable est que le séisme a été ressenti mais les informations recueillies ne permettent pas de quantifier l'intensité précisément. De plus, 12 observations sont disponibles pour les répliques des 27, 29 janvier, 5 et 6 février 1799.

Ces informations sont utilisées pour proposer un scénario réaliste pour cet évènement et estimer les paramètres sismologiques (magnitude, localisation, mécanisme, ...).

### 3.2. CALAGE DE PARAMETRES DE SCENARIO

Plusieurs sources bibliographiques ont été consultées pour estimer les paramètres sismologiques de ce séisme. Il faut rappeler que les seules sources d'information contemporaines de l'événement sont les documents historiques qui ont permis d'estimer les intensités macrosismiques (cf. 3.1). A partir de ces informations, des méthodes de calcul (via des algorithmes d'inversion) permettent d'estimer une localisation de l'épicentre, une profondeur et une magnitude. D'autres paramètres comme le mécanisme de la faille peuvent être proposés selon la connaissance actuelle de la sismicité et des failles sismiques actives dans cette région.

Pour l'estimation de la magnitude et de la profondeur de l'évènement, plusieurs travaux récents ont été consultés :

- Selon Baize *et al.* (2013), le séisme dit de « Noirmoutier » du 25 janvier 1799 aurait une magnitude de moment  $M_w$  de 6,4 et une intensité épicentrale de VII-VIII (MSK). La profondeur du foyer n'est pas estimée dans cette étude.
- Dans le catalogue de sismicité AHEAD<sup>3</sup>, d'après la référence Stucchi *et al.* (2013), sont proposés pour ce séisme : une intensité épicentrale de VII-VIII, une magnitude de moment  $M_w=6.16 \pm 0.3$  et une profondeur de 23,67 km. Sur la Figure 6 ci-dessous est présenté le catalogue AHEAD avec la localisation de l'épicentre en mer qui fait consensus.
- Selon Baumont & Scotti (2011) la magnitude  $M_w$  serait de 6,33. La profondeur du foyer n'est pas estimée dans cette étude.
- Limasset *et al.* (1991) qui ont enquêté sur les archives à la recherche de témoignages contemporains, justifient également un épicentre en mer, notamment en raison du mouvement des eaux signalé dans la baie de Bourgneuf (voir Figure 7).

Pour la présente étude, l'hypothèse d'une prolongation de la faille de Noirmoutier vers l'Est a été retenue, afin d'être cohérent avec la localisation de l'épicentre issue des différentes sources bibliographiques recensées dans le catalogue AHEAD.

---

<sup>3</sup> <http://www.emidius.eu/AHEAD/main/>

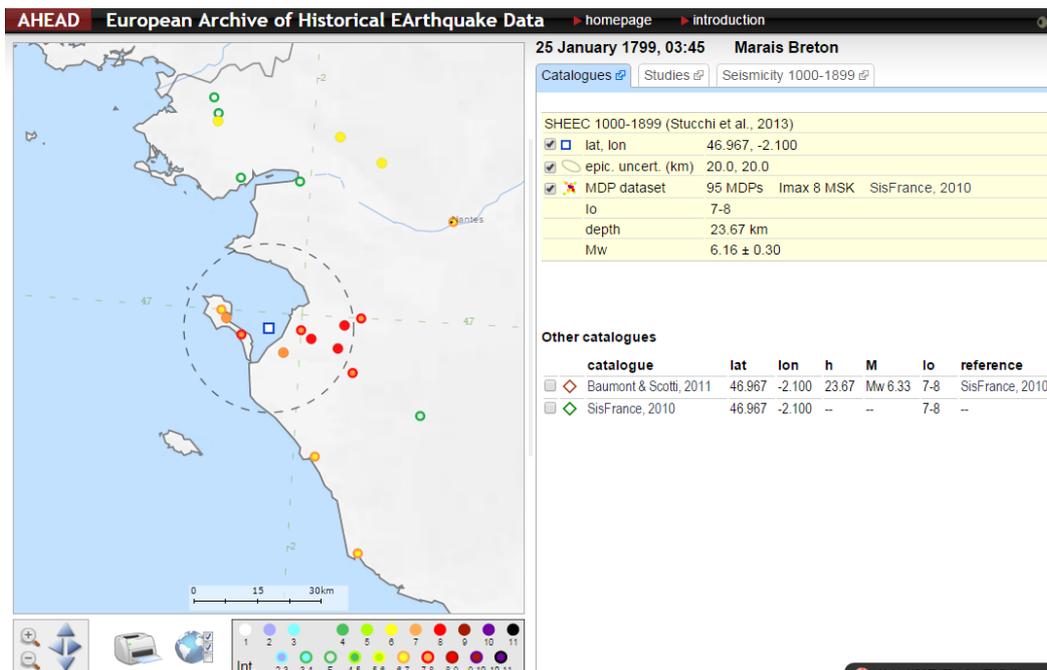


Figure 6 - Impression d'écran du catalogue de sismicité historique européen AHEAD.

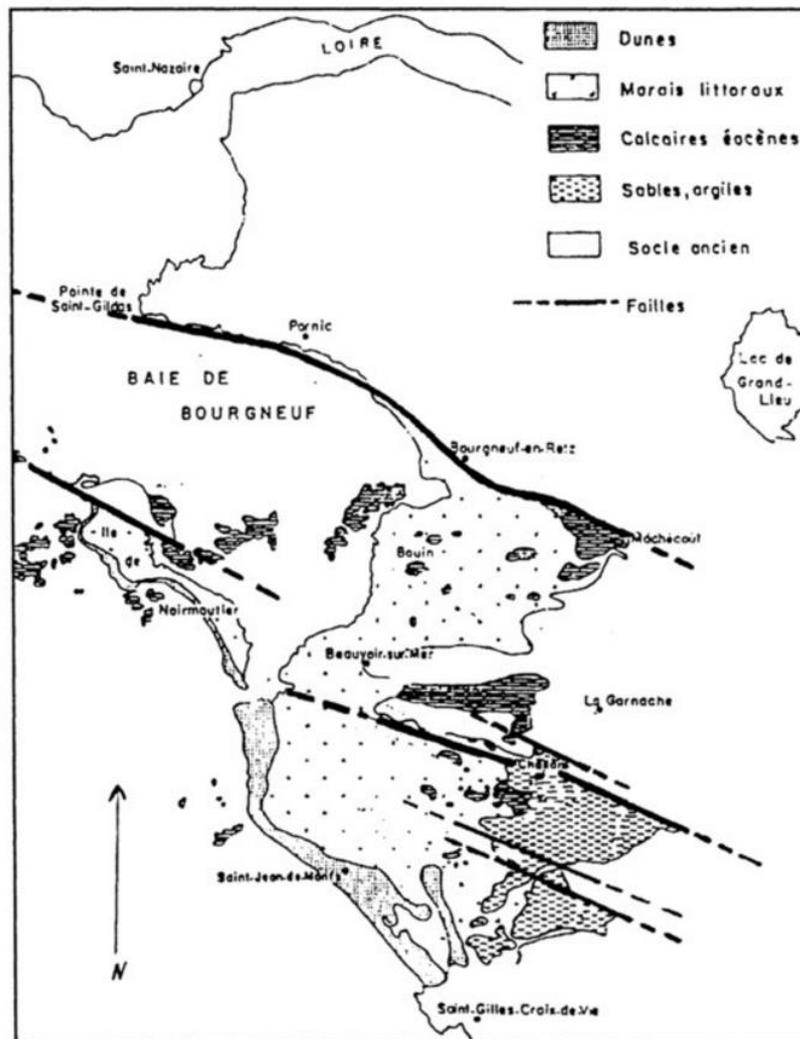


Figure 7 - Carte des principales failles de la zone de Noirmoutier et de la baie de Bourgneuf (extrait de Limasset et al., 1991).

Une fois que les paramètres sismologiques ont été estimés, les mouvements du sol, représentés par les intensités (isoséistes) induits par le séisme de 1799 ont été simulés selon les étapes suivantes :

- Calcul de l'accélération au rocher (sans prise en compte des effets de site), à l'aide d'une relation d'atténuation des mouvements sismiques. Les relations d'atténuation sont des lois empiriques qui estiment l'accélération du sol sur un territoire en fonction de la distance à l'épicentre, de la magnitude du séisme et du type de mécanisme de la faille ;
- Calcul de l'accélération du sol, en prenant en compte les effets de site lithologiques estimés sur la zone d'étude ;
- Conversion des accélérations simulées en intensités selon la relation de conversion Atkinson & Kaka (2007).

Plusieurs relations d'atténuation du mouvement sismique ont été testées afin de déterminer celle qui reproduit le mieux les intensités observées et répertoriées dans Sisfrance. Finalement la relation d'atténuation de Campbell & Bozorgnia (2008) a été retenue, en prenant en compte les paramètres présentés dans le Tableau 4.

Le Tableau 5 compare pour quelques localités les intensités que nous avons simulées et celles relevées dans Sisfrance. On observe une bonne correspondance au niveau des localités proches de l'épicentre (Noirmoutier, Bouin). En revanche pour les localités situées plus loin de l'épicentre vers le Sud-Est (comme Le Puy du Fou ou Fontenay-le-Comte), les intensités simulées sont plus faibles que celles répertoriées dans Sisfrance. Habituellement dans l'Ouest de la France les relations d'atténuation ne reproduisent pas correctement la relative faible atténuation des ondes sismiques dans le socle du Massif Armoricaire, comme Sira *et al.* (2016) l'ont noté pour le séisme de la Rochelle du 28 avril 2016. Par ailleurs s'agissant d'une zone de polders et de marais présentant des sols très mous de comportement sismique très médiocres, les différences en intensité entre les zones avec ou sans effet de site peuvent être très importantes, comme c'est le cas par exemple entre le centre-historique de Bouin ou de Noirmoutier-en-Ile par rapport aux marais alentours.

	<b>Paramètre retenu</b>	<b>Source</b>
<b>Magnitude de moment (Mw)</b>	6.4	Baize <i>et al.</i> (2013)
<b>Profondeur</b>	24 km	Beaumont & Scotti (2011)
<b>Longitude/Latitue épicentre</b>	2° 06' W / 46° 58' N	Sisfrance (2015)
<b>Longueur rupture de la faille</b>	15 km (prolongation faille Noirmoutier vers l'Est)	Calcul selon Wells & Coppersmith (1994)
<b>Relation d'atténuation</b>	Campbell & Bozornia 2008 chevauchement + 0.5 sigma	Meilleur accord parmi relations testées (Tableau 5)
<b>Conversion acc/int</b>	Atkinson & Kaka 2007	Meilleur accord parmi relations testées (Tableau 5)

Tableau 4 - Paramètres retenus pour la simulation des intensités du séisme de Bouin.

<b>Localité</b>	<b>Intensité observée (selon Sisfrance)</b>	<b>Intensité simulée (cette étude)</b>
Machecoul	VII-VIII (VIII dans le marais)	VII-VIII
Bouin	VII-VIII (VIII dans le marais)	VII-VIII, VIII dans le marais
Saint-Gilles-Croix-de-Vie	VI-VII	VI-VII
Nantes	VI-VII	VI-VII
Beauvoir-sur-Mer	VII	VII
Barbatre	VII-VIII	VII-VIII
Noirmoutier-en-Ile (rocher)	VI-VII	VII
Fontenay-le-Comte	V-VI	IV-V
Sables d'Olonne	VI-VII	VI
Saint Lyphard	VI	VI
Le Temple de Bretagne	VI	VI
La Moere (Savenay)	VI	VI
Le Puy du Fou (Les Epresses)	VI-VII	V
Tiffauges	V-VI	V-VI
Loge-Fougereuse	V-VI	IV-V

*Tableau 5 - Comparaison entre les intensités simulées et les intensités recensées dans Sisfrance pour quelques localités proches de l'épicentre.*

La Figure 8 représente une carte avec les intensités simulées, qui seront celles prises en compte dans le scénario. La Figure 9 montre également ces intensités simulées qui sont superposées aux contours des isoséistes obtenus avec une interpolation automatique des données d'observation de Sisfrance (Rey *et al.* 2012-2015). On observe un bon accord entre les intensités simulées dans la présente étude et les intensités de référence recensées dans SisFrance, ce qui valide les paramètres d'entrée choisis pour la simulation.

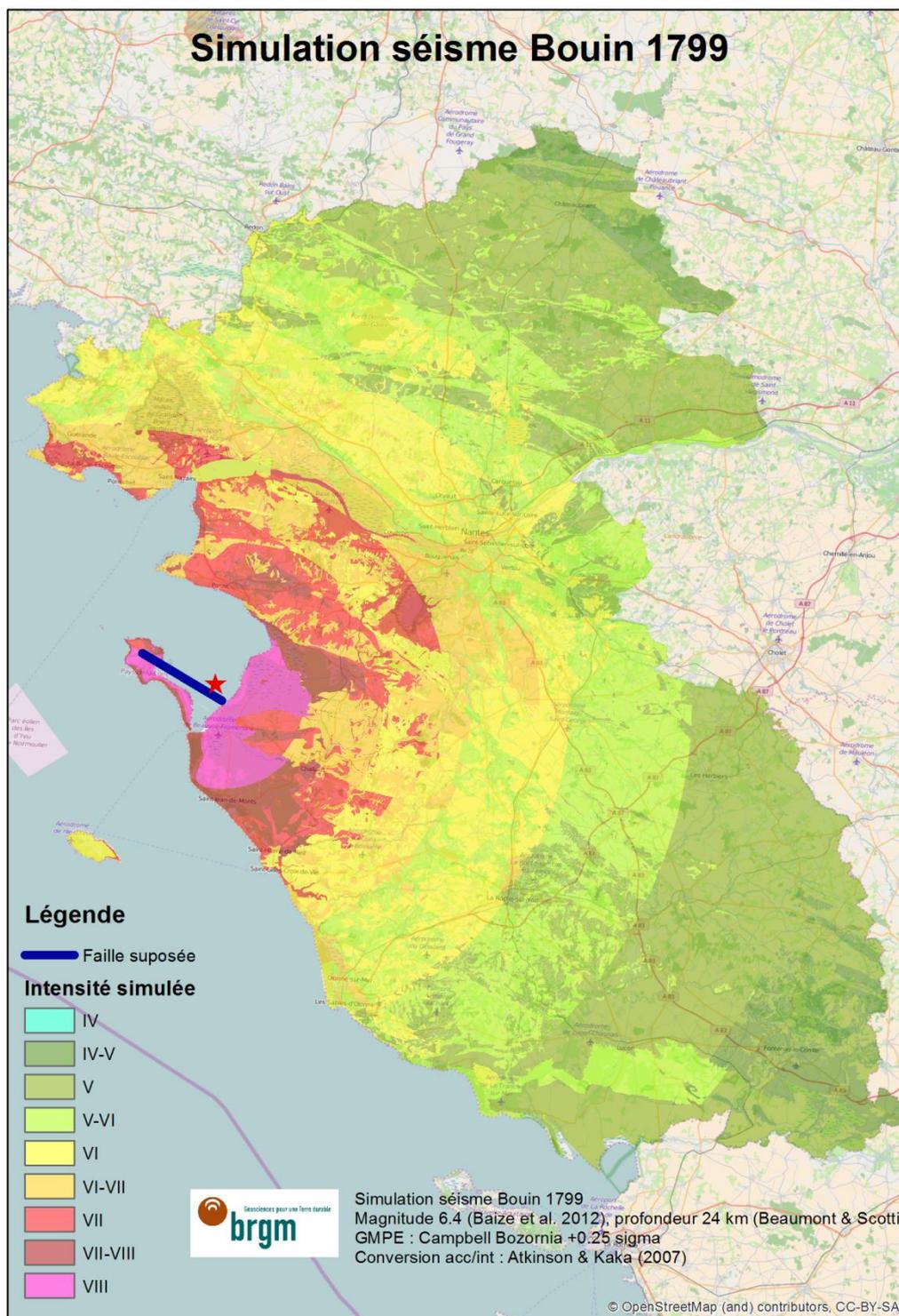


Figure 8 - Intensités simulées pour le séisme historique de Bouin ( $M_w=6.4$ , profondeur 24 km, faille en mer) en prenant en compte des conditions de site (relation d'atténuation de Campbell&Bozorgnia, 2008 et conversion en intensités par relation d'Atkinson&Kaka, 2007).

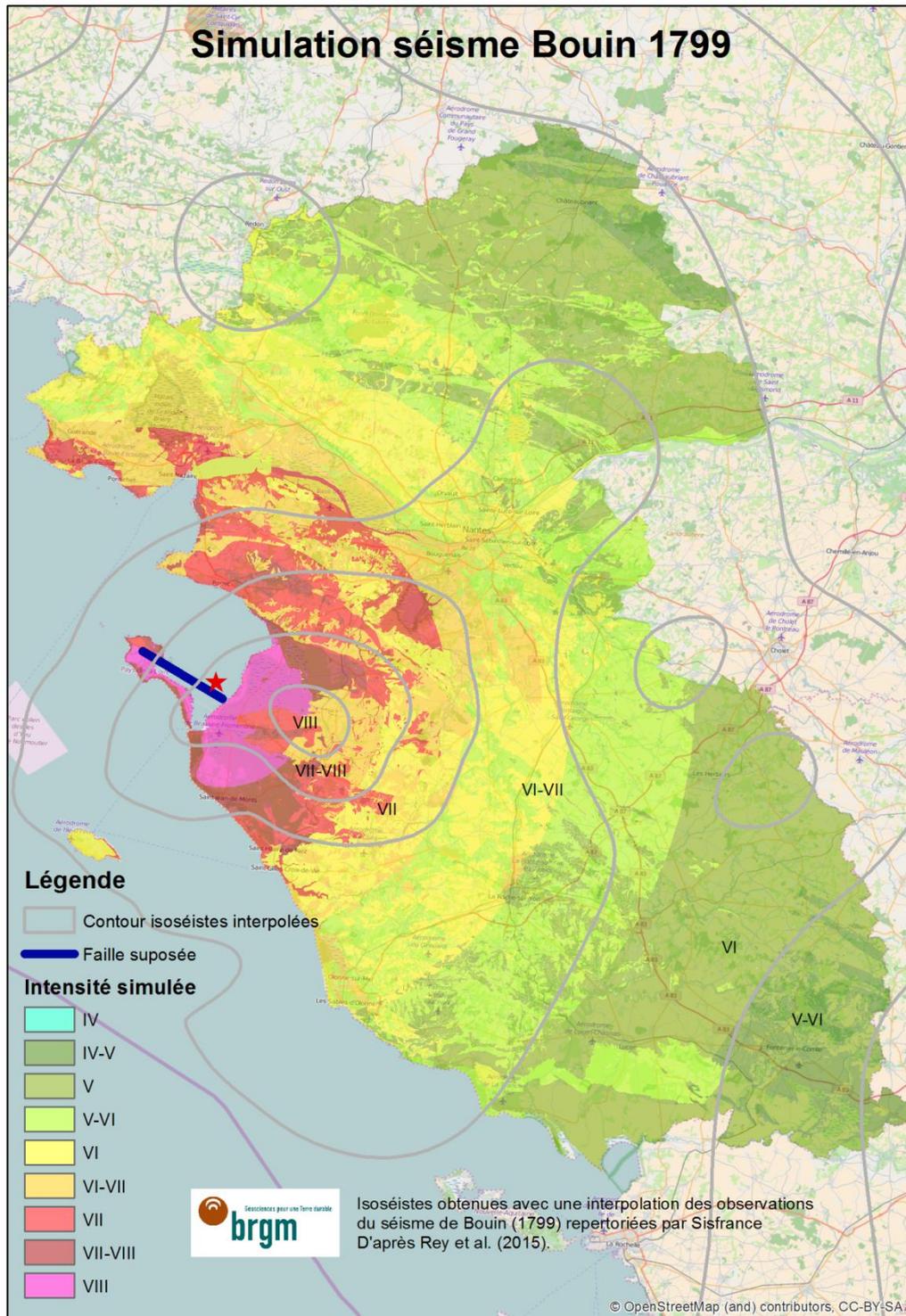


Figure 9 - Comparaison des intensités simulées pour le séisme historique de Bouin avec les isoséistes interpolées automatiquement (Rey et al., 2012-2015)



## 4. Résultats

Les résultats des simulations pour le scénario testé sont présentés dans ce chapitre. Les dommages physiques sont tout d'abord présentés puis les coûts financiers de ces dommages sont ensuite estimés.

### 4.1. LIMITES DE L'ETUDE

#### 4.1.1. Séisme de scénario

Il convient de nuancer la représentativité de l'évènement sismique majeur de 1799. Au regard de l'aléa sismique de la France pour une période de retour de 475 ans (soit celle prise en compte par la réglementation des bâtiments à risque normal) la Vendée et la Loire-Atlantique sont situées majoritairement en zone de sismicité modérée, avec des accélérations du sol attendues pour cette période de retour qui varient entre 1,1 m/s<sup>2</sup> et 1,6 m/s<sup>2</sup>. Ces valeurs converties en intensité varient entre VI-VII et VII et sont celles prises en compte dans le cadre d'une précédente étude estimant les dommages attendus et les pertes financières dans des départements de sismicité modérée, dont la Vendée (Rey *et al.*, 2015).

Le séisme de 1799, d'intensité maximale estimée entre VII et VIII, a été ainsi largement plus puissant et correspond à un séisme extrême, de période de retour sans doute plus longue que 475 ans, bien que difficile à estimer plus précisément. Ainsi si un tel évènement est plausible pour toute la façade ouest du pays, sa probabilité d'occurrence est faible à l'échelle d'une vie humaine ou même de la durée d'utilisation d'un bâtiment.

Ainsi les résultats présentés dans cette étude ont été produits avant tout **dans un but de sensibilisation**. Pour obtenir une image globale du risque sismique dans cette région il faudrait prendre en compte toutes les sources sismiques identifiées, leur associer ensuite une probabilité d'occurrence, puis évaluer enfin la probabilité globale de dépassement d'un niveau d'accélération ou d'intensité donné. **Ce n'est pas l'objet de la présente étude** mais celui d'une étude probabiliste complète du risque sismique.

#### 4.1.2. Estimation des pertes financières

Il convient de garder en mémoire que ces résultats ne concernent que les bâtiments d'habitation (individuelle et collective) et que les pertes financières sont celles associées aux dommages couverts dans le cadre du dispositif d'indemnisation français des catastrophes naturelles (dit Cat Nat, voir §4.3). Ainsi les dommages aux bâtiments commerciaux, industriels ou agricoles, ainsi qu'aux bâtiments publics ne sont pas simulés dans le cadre de la présente étude. De même les pertes financières qui ne sont pas couvertes par le régime d'indemnisation ne sont pas calculées. Il s'agit des pertes assurées directes non couvertes par le système (franchise, dommages aux véhicules, dommages aux personnes, ...) des pertes indirectes (pertes d'exploitation,

ruptures de réseaux, effets dominos, ...) ainsi que des pertes non assurées (ouvrages non assurés, coûts environnementaux ou en terme d'image). Ces coûts peuvent être très importants mais sont difficilement chiffrables. Par exemple si un évènement important survenait dans cette région très touristique il est probable que l'image de la région serait affectée pour quelques années et que des pertes d'exploitation importantes seraient subies pour toutes les activités touristiques.

## 4.2. DOMMAGES PHYSIQUES A L'HABITAT

Les résultats sont tout d'abord présentés en termes d'endommagement physique à l'habitat. Ces résultats sont exprimés selon l'échelle de dommages de l'échelle EMS98 (Figure 10).

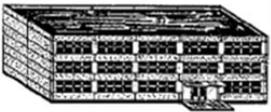
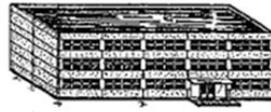
Niveau de dommage	Maçonnerie	Béton armé
D 1: Dégâts léger négligeable		
D 2: Dégâts modérés		
D 3: Dégâts sensibles à importants		
D 4: Dégâts très importants		
D 5: Destruction		

Figure 10 - Echelle de dommages selon l'EMS98 pour les bâtiments en maçonnerie et en béton armé.

La Figure 11 illustre le pourcentage de bâtiments présentant des dégâts modérés et importants (états D2 et D3) pour chaque commune.

La Figure 12 illustre le pourcentage de bâtiments présentant des dégâts très importants ou détruits (états D4 et D5) pour chaque commune.

Le Tableau 6 synthétise les résultats agrégés à l'échelle des départements et par état d'endommagement.

Département	Bâtiments en D0 + D1	Bâtiments en D2	Bâtiments en D3	Bâtiments en D4	Bâtiments en D5
Loire-Atlantique	293 900 (92.2%)	24 600 (6.1%)	5 900 (1.5%)	800 (0.2%)	25 (<0.01%)
Vendée	249 700 (92.3%)	18 400 (5.6%)	5 600 (1.7%)	1 100 (0.3%)	70 (<0.01%)

*Tableau 6 - Synthèse des résultats des simulations d'endommagement physique. Nombre de bâtiments endommagés selon les classes de dommages et agrégés respectivement pour les deux départements.*

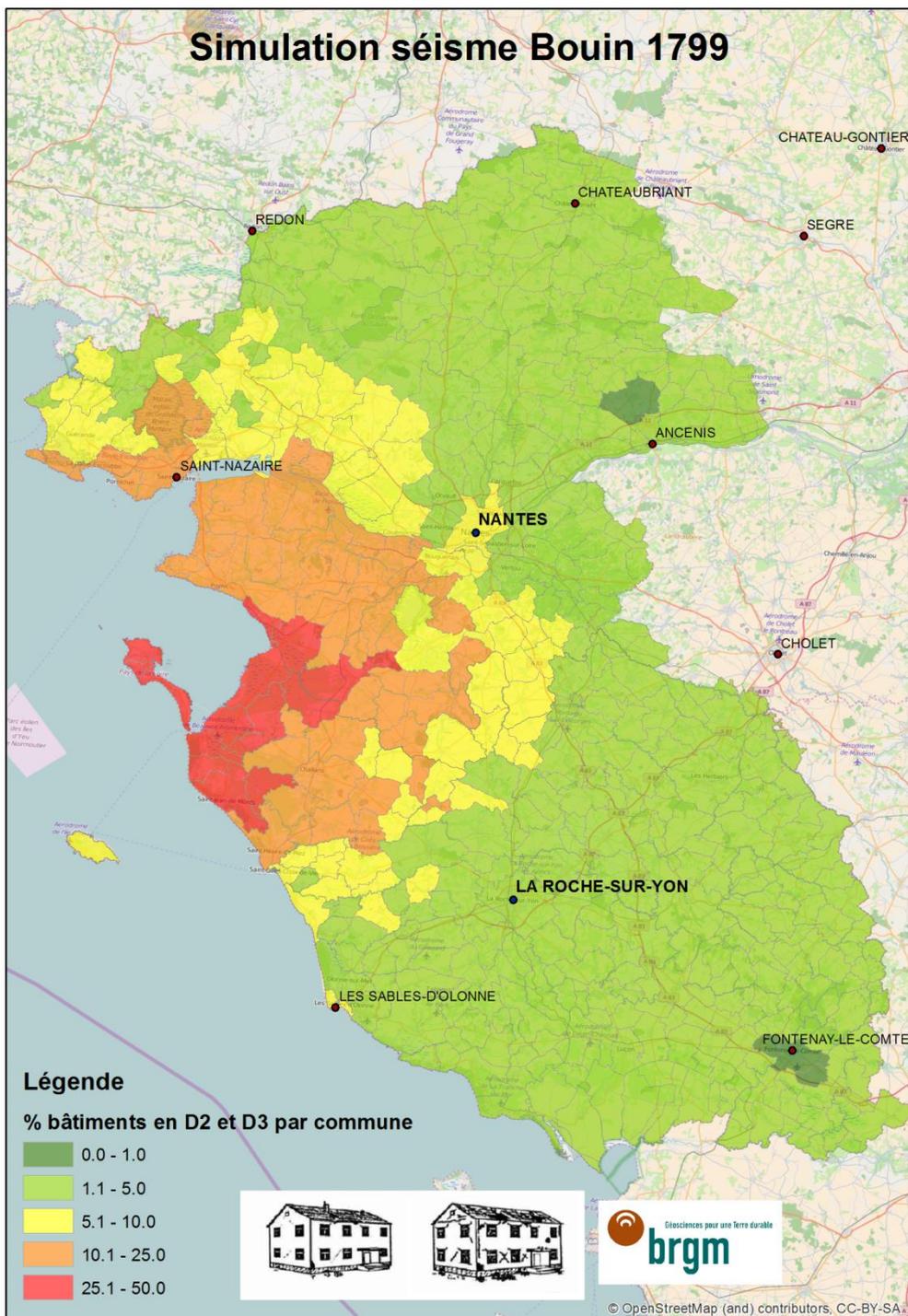


Figure 11 - Estimation des pourcentages de bâtiments présentant des états de dommages D2 et D3 (dommages modérés à importants). Restitution à l'échelle communale.

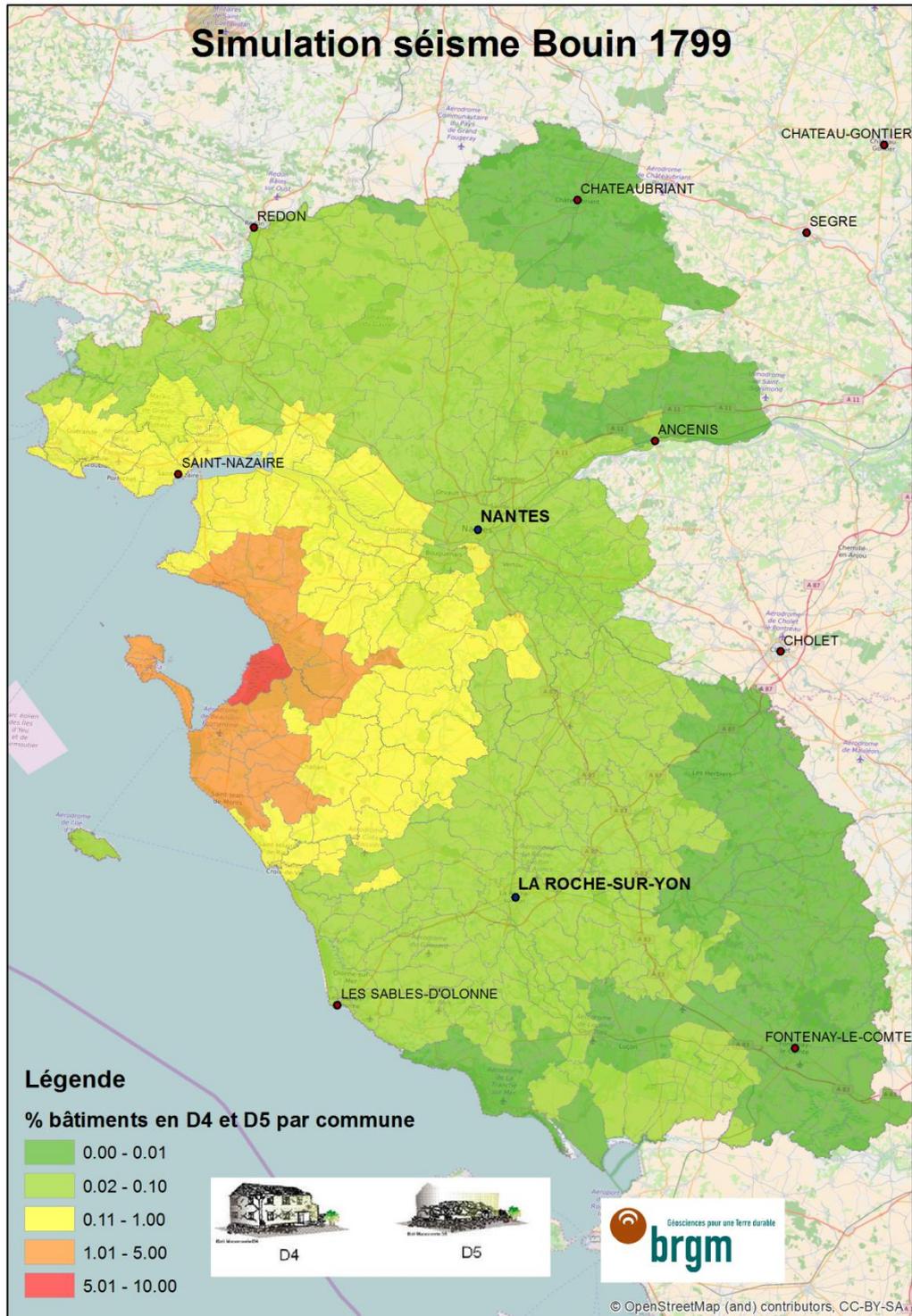


Figure 12 - Estimation des pourcentages de bâtiments présentant des états de dommages D4 et D5 (bâtiments fortement endommagés ou détruits). Restitution à l'échelle communale.

### **4.3. LE REGIME FRANÇAIS D'INDEMNISATION DES CATASTROPHES NATURELLES**

La France est l'un des quelques rares pays à s'être doté d'un dispositif garantissant à chacun de ses citoyens une indemnisation correcte en cas de sinistre causé par un phénomène naturel.

En France, le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (appelé « régime Cat Nat »), en vigueur depuis 1982, a connu un certain nombre d'évolutions, mais ses grands principes sont restés constants :

- un système reposant sur un partenariat public-privé ;
- un principe de solidarité entre les assurés quel que soit leur niveau d'exposition aux événements naturels ;
- une participation de l'Etat, par l'offre de sa garantie illimitée au régime Cat Nat, via la réassurance publique - non obligatoire - proposée par CCR ;
- un déclenchement de l'assurance Cat Nat pour des événements relativement fréquents, par exemple dès le seuil de période de retour décennal pour les inondations.

La loi du 13 juillet 1982 ne comporte pas de liste de périls couverts, elle n'indique pas non plus les périls exclus. L'article 1 de cette loi décrit seulement ce qui est considéré comme étant les effets d'une catastrophe naturelle, à savoir les "dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel", parmi lesquels les séismes.

Le fonctionnement du régime d'indemnisation des Catastrophes naturelles en France est expliqué sur le site internet de CCR (Caisse Centrale de Réassurance - [www.ccr.fr](http://www.ccr.fr)) dans la rubrique "Nos Expertises / Publications / L'indemnisation des Catastrophes naturelles en France »<sup>4</sup>.

### **4.4. ESTIMATION DES COÛTS INDEMNISES POUR CE SCENARIO**

Les coûts des dommages indemnisés pour les bâtiments résidentiels ont été évalués par CCR selon la méthodologie décrite au paragraphe 2.4. Une estimation a été réalisée à l'échelle communale puis les sommes ont été agrégées à l'échelle départementale. Des intervalles réalistes sont estimés en prenant en compte différentes hypothèses optimistes ou pessimistes reflétant une partie des incertitudes associées à ce chiffrage.

Les coûts sont estimés respectivement pour les immeubles, les maisons et les appartements. Pour les maisons et appartements, le coût des dommages au bâti mais également au contenu des habitations sont chiffrés. Pour les immeubles, les

---

<sup>4</sup> <http://www.ccr.fr/web/ccr/-/indemnisation-des-catastrophes-naturelles-en-france>

dommages au bâti sont également chiffrés. Les résultats sont présentés dans le Tableau 7 ci-dessous.

En millions d'euros	Loire-Atlantique		Vendée	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Maisons (bâti)	489,7	600,8	447,4	689,1
Maisons (contenu)	244,8	288,4	144,6	218,0
Appartement (bâti)	92,9	132,7	33,0	60,2
Appartements (contenus)	34,5	46,1	17,8	30,4
Immeubles (bâti)	60,0	66,5	13,9	14,5
Total	900 à 1 200		650 à 1 000	
	1 500 à 2 200			

Tableau 7 - Estimation des coûts assurés pour les habitations (en millions d'euros) évalués par CCR pour les deux départements pour le scénario du séisme de Bouin de 1799.

Ainsi le coût global d'un tel évènement qui se produirait aujourd'hui, pour les seuls deux départements considérés, s'élèverait à plus de 1,5 milliards d'euros.

Pour information le coût pour les seuls commerces de proximité (commerces situés dans des immeubles d'habitation comme un salon de coiffure ou une boulangerie par exemple) est estimé pour l'ensemble des deux départements de 300 à 700 millions d'euros. Ce chiffrage ne faisait pas l'objet de la présente étude mais permet d'illustrer le fait que le coût global d'un tel évènement est beaucoup plus important que le seul coût estimé pour les habitations.

Il convient également de garder en mémoire que la période de retour d'un tel évènement est sans doute de plusieurs milliers d'années (voir §4.1.1) et que ce scénario peut donc être considéré comme maximaliste pour le contexte sismique de cette région de la France métropolitaine.



## 5. Conclusions

Le séisme de Bouin de 1799 est l'un des plus forts séismes connus en France métropolitaine (Sisfrance, 2015). Son intensité a atteint le niveau VIII dans les zones de marais de la zone épiscopale, et s'est fait ressentir avec des niveaux d'intensité significatifs (VI-VII) à des distances importantes jusqu'à Nantes (à 50 km de l'épicentre) ou Les Sables d'Olonne (à 60 km de l'épicentre). Le modèle mis en place dans cette étude reproduit pour une grande partie du territoire étudié ces intensités observées et répertoriées dans la base de données Sisfrance, même si pour l'extrême Sud-Est de la zone traitée des différences sont notées. Cela vient confirmer les études précédentes et les paramètres sismologiques attribués pour ce séisme (Baize *et al.* 2013, Baumont et Scotti 2011, Stucchi *et al.* 2013).

Même s'il convient de nuancer la représentativité de cet événement sismique majeur, de période de retour sans doute assez longue, les dommages simulés en prenant en compte le bâti actuel, c'est-à-dire au début des années 2010, sont conséquents (de l'ordre de 10 000 à 12 000 bâtiments inhabitables au total sur les deux départements), et surtout beaucoup plus importants qu'à l'époque du séisme historique de Bouin du fait de la forte croissance démographique dans la zone depuis plus de deux siècles. Cette croissance urbaine s'est faite en grande partie par effet « tâche d'huile » et s'est accélérée dans la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. De plus les bourgs de l'époque du séisme se situaient pour la plupart sur des terrains rocheux. Par exemple, à ce titre, il faut rappeler que Bouin a été, jusqu'à la construction d'une digue et la poldérisation, une île. Les extensions urbaines du XX<sup>ème</sup> ont occupé les terrains voisins, souvent des anciens marais ou polders. Ainsi, cette expansion urbaine a principalement concerné des terrains de qualité médiocre, où de forts effets de site lithologiques sont attendus en cas de séisme.

Le parc bâti du territoire étudié n'est pas particulièrement plus vulnérable que d'autres au risque sismique. Néanmoins, une grande partie des constructions des deux départements a été réalisée sans application ou prise en compte d'une réglementation parasismique « complète » (Eurocode 8) ou « simplifiée » (PS-MI pour les maisons individuelles). L'effet de la réglementation applicable depuis mai 2011 combiné à la rénovation urbaine aura cependant un effet bénéfique de réduction de la vulnérabilité sur le long terme (Rey *et al.*, 2015).

Les pertes économiques estimées pour les habitations et pour un séisme de type de celui survenu en 1799 qui aurait lieu aujourd'hui sont aussi très importantes, de l'ordre de 1,5 à 2,2 milliards d'euros. Le fait que des agglomérations importantes, avec une forte concentration de biens assurés, se situent en zone « dommageable » explique sans doute ces résultats.

Il convient de garder en mémoire que ces résultats ne concernent que les bâtiments d'habitation et les pertes financières sont celles strictement associées aux dommages couverts dans le cadre du dispositif d'indemnisation français des catastrophes naturelles (dit Cat Nat). Le coût global d'un tel événement serait beaucoup plus

important si on ajoute les pertes aux autres bâtiments, les pertes assurées hors du système Cat Nat et les pertes indirectes.

## 6. Bibliographie

**André C. (2013)** - Analyse des dommages liés aux submersions marines et évaluation des coûts induits aux habitations à partir de données d'assurance. Perspectives apportées par les tempêtes Johanna (2008) et Xynthia (2010). Thèse Université de Bretagne Occidentale.

**Applied Technology Council (1985)** - Earthquake Damage Evaluation Data for California (ATC-13), Redwood City, CA, 1985.

**AQC (2009)** - L'évolution des parts de marché des produits et matériaux de la construction.

**Atkinson, G.M. & Kaka S. (2007)** - Relationships between Felt Intensity and Instrumental Ground Motion in the Central United States and California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 2, pp. 497–510.

**Baize S., Cushing E.M., Lemeille F., Jomard H. (2013)** - Updated seismotectonic zoning scheme of Metropolitan France, with reference to geologic and seismotectonic data. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 184(3), pp. 225-259.

**Baumont D., Scotti O. (2011)** - The French Parametric Earthquake Catalogue (FPEC) based on the best events of the Sisfrance macroseismic database - Version 1.1 - IRSN/DEI/2011-012.

**Campbell K. W. & Bozorgnia Y. (2008)** - NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s, *Earthquake Spectra*, **24**(1), pp. 139-171.

**Devaux M., Koller (2009)** - Seismic vulnerability of the building stock in Basel – Lörrach – St-Louis area. Rapport technique, Résonance Ingénieurs-conseils SA, 76 p.

**Espacité (2015)** - Plan Départemental de l'Habitat de la Vendée 2014-2020. Diagnostic.

**FEMA (2003)** - Hazus MH MR4 Earthquake Model - Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Mitigation Division: Washington, DC, 2003.

**Grünthal G., Musson R. M. W., Schwarz J., Stucchi M. (1998)**. European Macroseismic Scale 1998 (EMS98). Cahiers du centre européen de géodynamique et de séismologie, volume 15, Luxembourg.

**Limasset J.C., Limasset E. et Martin J.C. (1991)**. Histoire et étude des séismes. Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest.

**Mouroux P., Le Brun B., Depinois S., Bertrand E., Masure P. (2004)** – Projet européen RISK-UE : application à la ville de Nice. Rapport BRGM/RP-53202-FR, 137 p., 43 ill., 3 annexes.

**PS-MI 89 (1995 / 2001)** - NF P 06-014 mars 1995 amendée A1 février 2001 « Construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés - Règles PS-MI 89 révisées 92 ».

**Rey J., Auclair S., Bes de Berc S., Negulescu C., R. Vandromme (2009) avec la collaboration de P. Conil** – Pré-diagnostic sur les microzonages sismiques pour des communes d'importance variable. Commune de Nantes. Rapport BRGM/RP-57129-FR Sous-partie 2, 66 p., 15 fig., 12 tabl.

**Rey J. (BRGM) et Tinard P. (CCR) avec la collaboration de J. Abad, D. Bertil, D. Monfort-Climent et N. Taillefer (2015a)** – Partenariat CCR-BRGM 2014-2019. Travaux menés en 2014 dans le cadre du programme commun sur le risque sismique. Rapport BRGM/RP-64454-FR, 18 p., 6 fig.

**Rey J. (BRGM) et Tinard P. (CCR) (2015b)** – Estimation financière du risque sismique à l'échelle départementale : à l'interface entre sismologie et réassurance, travaux communs CCR-BRGM (2014-2019). 9<sup>ème</sup> Colloque National AFPS 2015 – IFSTTAR (30/11-02/12 2015).

**Rey J. (BRGM), Tinard P. (CCR) avec la collaboration de J. Abad, D. Bertil, D. Monfort-Climent et N. Taillefer (2015c)** – Partenariat CCR-BRGM 2014-2019. Travaux menés en 2015 dans le cadre du programme commun sur le risque sismique. Rapport BRGM/RP-65372-FR, 20 p., 9 fig., 1 tabl.

**Rey J., Abad J., Auclair S., Monfort Climent D. (2015)** - Estimation des pertes à l'échelle départementale liées à des scénarios de risque sismique. Rapport final. BRGM/RP-65381-FR, 64 p., 21 fig., 10 tabl.

**Rey J. et al. (2012-2015)** - Etablissement d'une base de données des intensités historiques extrapolées pour toutes les communes françaises - phase 1, Rapport BRGM/RP-62941-FR, 2013 ; phase 2, Rapport BRGM/RP-64384-FR, 2014 et phase 3, Rapport BRGM/RP-65304-FR, 2015.

**Riedel I., P. Guéguen, F. Dunand, and S. Cottaz (2014)** - Macroscale Vulnerability Assessment of Cities Using Association Rule Learning. *Seismological Research Letters*. Volume 85, Number 2 March/April 2014.

**Sedan O., Negulescu C., Terrier M., Roullé A., Winter T., Bertil D. (2013)** – Armagedom – A Tool for Seismic Risk Assessment Illustrated with Applications. *Journal of Earthquake Engineering*, Volume 17, Issue 2, p. 253-281, 2013.

**Sira C., A. Schlupp, M. Schaming (2016)** – Séisme de La Rochelle du 28 avril 2016, Rapport du BCSF, BCSF2016-R1, 82 p., 50 figures, 4 annexes.

**SisFrance (2015)** - Base de données SisFrance des séismes historiques ([www.sisfrance.net](http://www.sisfrance.net)). BRGM, EDF, IRSN.

**Stucchi M. et al. (2013)** - The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899. *Journal of Seismology*, 17, pp. 523–544.

**Vendée Expansion – INSEE Pays de la Loire (2013)** – 3 800 ménages à loger chaque année en Vendée d'ici 2030. *Études* n°113, janvier 2013. [http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg\\_id=3&ref\\_id=19476](http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=3&ref_id=19476)

**Wells DL, Coppersmith KJ (1994)** - New empirical relations among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bull. Geol. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.

**Whitman, Robert V., J.W. Reed, and S. T. Hong (1973)** - Earthquake Damage Probability Matrices, Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, 1973.

**Whitman, Robert V., Thalia Anagnos, Charles A. Kircher, Henry J. Lagorio, R. Scott Lawson, Philip Schneider (1997)** - Development of a National Earthquake Loss Estimation Methodology, *Earthquake Spectra*, Vol. 13, 4.



## Annexe 1 - Analyse de la vulnérabilité de la Vendée

Cette analyse est reprise telle que présentée dans l'étude de Rey *et al.* (2015).

<b>M10 : Maisons individuelles avant 1949 - centres historiques</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.74	M1.2 : Murs porteurs en maçonnerie de pierres appareillées
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.02	Vétusté.

<b>M11 : Maisons individuelles avant 1949</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.74	M1.2 : Murs porteurs en maçonnerie de pierres appareillées
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.03	Vétusté.
+0.03	Irrégularités diverses.

<b>M12 : Maisons individuelles entre 1949 et 1974</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.696	M3.3 : Murs porteurs en maçonnerie non armée avec plancher principalement en poutrelles métalliques et maçonnerie.
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
n.a.	Pas de défauts particuliers.

<b>MI3 : Maisons individuelles entre 1975 et 1989</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.64	M3.3 : Evolution : disparition des planchers en bois.
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
n.a.	Pas de défauts particuliers.

<b>MI4 : Maisons individuelles après 1990</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.62	M3.3/M4 : Murs porteurs en maçonnerie non armée avec plancher principalement en poutrelles métalliques et maçonnerie ou en béton armé.
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
n.a.	Pas de défauts particuliers.

<b>GC2 : Grand collectif entre 1949 et 1974</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.386	RC2 : Murs de refend en béton
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.16	Absence de conception parasismique (avant 1982 en France)
+0.10	Contreventement en une seule direction (coffrage tunnel, grandes fenêtres/balcons)
+0.08	Grande hauteur



Figure 13 - Exemple d'immeuble de type GC2 au Château-d'Olonne (Google Street View)

<b>GC3 : Grand collectif entre 1975 et 1989</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.386	RC2 : Murs de refend en béton
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.10	Contreventement en une seule direction (coffrage tunnel, grandes fenêtres/balcons)
+0.08	Grande hauteur

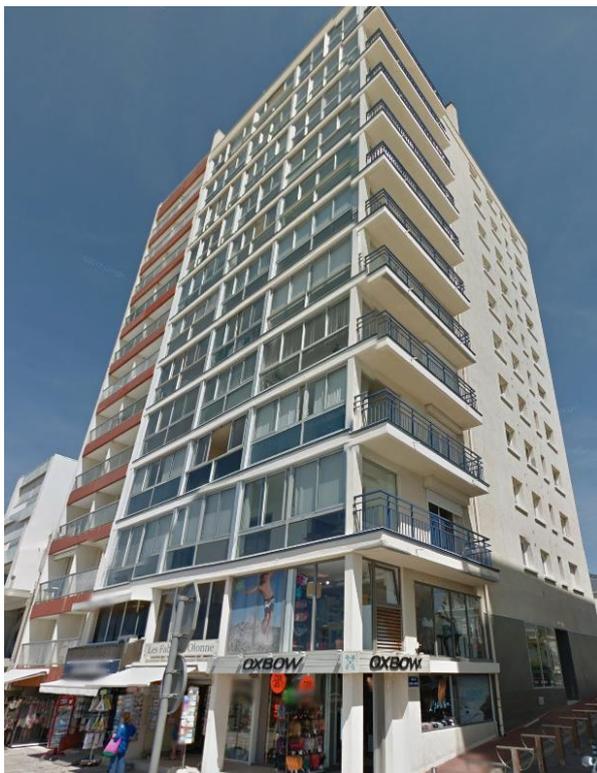


Figure 14 - Exemple d'immeuble de type GC4 au Château-d'Olonne (Google Street View)

<b>GC4 : Grand collectif après 1990</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.386	RC4 : Structure mixte en béton armé
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
-0.03	Conception parasismique a minima.
+0.08	Contreventement insuffisant, irrégularités en hauteur.
+0.08	Grande hauteur

<b>PC0 : Petit collectif avant 1949 - centres historiques</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.74	M1.2 : Murs porteurs en maçonnerie de pierres appareillées
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.02	Vétusté.

<b>PC1 : Petit collectif avant 1949</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.74	M1.2 : Murs porteurs en maçonnerie de pierres appareillées
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.03	Vétusté.
+0.03	Irrégularités diverses.

<b>PC2 : Petit collectif entre 1949 et 1974</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.386	RC2 : Murs de refend en béton
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.16	Absence de conception parasismique (avant 1982 en France)
+0.10	Contreventement en une seule direction
+0.04	Joints insuffisants/autres irrégularités

<b>PC3 : Petit collectif entre 1975 et 1989</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.386	RC2 : Murs de refend en béton
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.08	Absence de conception parasismique (construction post 1982, hors zone sismique)
+0.10	Contreventement en une seule direction (coffrage tunnel, grandes fenêtres)
+0.04	Saillies (balcons)/autres irrégularités
+0.04	Blocs de grande longueur sans joints parasismiques



Figure 15 - Exemple d'immeuble de type PC3 au Château-d'Olonne (Google Street View)

<b>PC4 : Petit collectif après 1990</b>	
<b><math>V_i^*</math></b>	<b>Typologie</b>
0.386	RC4 : Structure mixte en béton armé
<b>Facteurs aggravants</b>	
<b><math>\Delta V_m</math></b>	<b>Description</b>
+0.08	Absence de conception parasismique (construction post 1982, hors zone sismique jusqu'à 2011)
+0.04	Saillies (balcons)
+0.04	Blocs de grande longueur sans joints parasismiques



*Figure 16 - Exemple d'immeuble de type PC4 aux Sables-d'Olonne (Google Street View)*



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique  
Direction Risques et Prévention**  
3, avenue Claude-Guillemin - BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale Pays de la Loire**  
1, rue des Saumonières  
B.P. 92342  
44323 NANTES CEDEX 3  
Tél. : 04 91 17 74 77