

# Partenariat CCR-BRGM 2014-2019 Travaux menés en 2016 dans le cadre du programme commun sur le risque sismique

Rapport final

BRGM/RP-66473-FR  
Décembre 2016

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public  
du BRGM 2016 (Convention spécifique d'application CCR – BRGM)

J. Rey (BRGM), P. Tinard (CCR)

Avec la collaboration de

J. Abad, D. Bertil, A. Imtiaz, D. Monfort-Climent et N. Taillefer

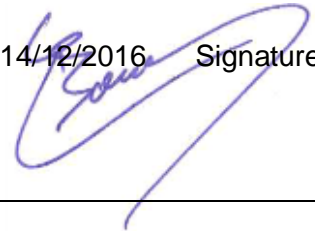


Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM

Ce document a été vérifié par : (Myriam Belvaux, Resp. Scien. Programme)      date : 13/12/2016

**Approbateur :**

Nom : Olivier Bouc      Fonction : Responsable unité RSV      Date : 14/12/2016      Signature :



**Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.**

**Mots clés :** CCR, Assurances, Risque sismique, Déterministe, Probabiliste, ARMAGEDOM, Vulnérabilité, Commerces, Industries, Incertitudes

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

**Rey J. (BRGM), Tinard P. (CCR) avec la collaboration de J. Abad, D. Bertil, A. Imtiaz, D. Monfort-Climent et N. Taillefer (2016)** – Partenariat CCR-BRGM 2014-2019. Travaux menés en 2016 dans le cadre du programme commun sur le risque sismique. Rapport BRGM/RP-66473-FR, 25 p., 11 fig., 1 tabl.

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

## Synthèse

Le BRGM et CCR (Caisse Centrale de Réassurance) ont signé en juin 2014 une convention-cadre pour établir un partenariat de recherche collaborative portant sur la période 2014-2019.

Les deux partenaires souhaitent ainsi conduire conjointement des programmes communs, destinés à améliorer leur expertise multi-périls des vulnérabilités et la transformation de ces vulnérabilités en approche économique.

Dans le cadre de ce partenariat une convention d'application annuelle a été signée pour 2016 concernant le risque sismique. Dans ce domaine, le besoin exprimé conjointement par CCR et le BRGM est de disposer d'une cartographie nationale homogène et cohérente du risque sismique. CCR souhaite aboutir à une vision probabiliste France entière (métropole et Outre-mer) du risque et ce, pour toutes les typologies de bâtiments présentes sur le territoire français (résidences, commerces, bâtiments agricoles et industries).

Pour cela une méthodologie est développée. Elle consiste à réaliser des scénarios de dommages départementaux afin d'évaluer les conséquences financières sur les constructions pour une source sismique donnée. L'évaluation des conséquences financières porte dans un premier temps sur le seul périmètre des biens assurés indemnisables dans le cadre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles.

Le présent rapport de synthèse fait état des travaux conduits au cours de l'année 2016 par les deux partenaires, des principaux résultats obtenus tels la finalisation des scénarios de dommages départementaux, l'évaluation préliminaire de tous les coûts économiques des séismes (coûts directs et indirects, indemnisés ou non) l'étude du bâti commercial et industriel ou enfin la prise en compte des incertitudes.

Ce rapport liste également les difficultés rencontrées et les perspectives pour les prochains programmes annuels de travail. Il a été établi conjointement par les deux partenaires.

# Sommaire

<b>1. Partenariat CCR-BRGM 2014-2019 et convention d'application risque sismique .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Actions réalisées dans le programme de travail 2016 .....</b>	<b>7</b>
2.1. QUELQUES DÉFINITIONS.....	7
2.2. SUIVI DES TRAVAUX .....	8
2.3. TÂCHES TECHNIQUES RÉALISÉES EN 2016.....	9
2.3.1. Tâche n°1 – Etudes relatives au bâti à vocation résidentielle .....	9
2.3.2. Tâche n°2 – Etudes complémentaires concernant les préjudices non couverts par la garantie catastrophes naturelles .....	17
2.3.3. Tâche n°3 – Etudes relatives aux zones commerciales .....	18
2.3.4. Tâche n°4 – Etudes relatives aux bâtiments agricoles et industriels .....	20
2.3.5. Tâche n°5 – Etudes relatives à l'évaluation des incertitudes .....	21
2.3.6. Tâche n°6 – Etudes préliminaires concernant le risque tsunami .....	21
2.4. ACTIONS DE COMMUNICATION ET DE VALORISATION .....	22
<b>3. Difficultés rencontrées et perspectives .....</b>	<b>23</b>
3.1. DIFFICULTÉS RENCONTRÉES.....	23
3.2. PERSPECTIVES .....	23
<b>4. Bibliographie.....</b>	<b>24</b>

## Liste des figures

Figure 1 - Exemple des résultats obtenus pour une simulation du mouvement sismique (accélération) avec des effets de site pour un scénario déterministe (Front du Jura à l'Est de Besançon, Mw=5,0, profondeur = 10 km) dans le département du Doubs (25)..	10
Figure 2 - Exemple de typologies constructives identifiées pour évaluer la vulnérabilité des maisons individuelles dans le département de l'Ain (01). Photographies issues de Google Street View. Extrait du fichier de métadonnées du scénario réalisé.	11
Figure 3 - Exemple des résultats obtenus pour une simulation du mouvement sismique (intensités) avec des effets de site pour un scénario déterministe dans le département du Bas-Rhin (séisme sur le graben du Rhin supérieur de magnitude Mw=5,0 et de profondeur 10 km, type séisme d'Offenburg 17/07/1574, Mw 5.1). Taux de dommages de niveau D4 et D5 (effondrement partiel ou total).....	12
Figure 4 - Estimation des pourcentages de bâtiments présentant des états de dommages D4 et D5 (bâtiments fortement endommagés ou détruits) en Loire-Atlantique et en Vendée pour le séisme de Bouin du 25 janvier 1799 (Mw=6.4, profondeur 23 km, prolongation de la faille de Noirmoutier vers l'Est). Restitution à l'échelle communale.	13
Figure 5 - Schéma représentant des exemples de typologies de maisons traditionnelles des différentes régions françaises en zone de sismicité faible.....	14
Figure 6 - Schéma proposé pour proposer des classes de vulnérabilité standards (ABCD selon l'EMS98) à partir de la donnée INSEE recensement 2012.	15
Figure 7 - Exemple des résultats obtenus pour la modélisation des coûts assurés pour un scénario déterministe pour les départements de Loire-Atlantique et de Vendée (séisme type séisme historique de Bouin du 25/01/1799, Mw=6,4 ; profondeur=24 km) (fond cartographique : BD TOPO®).....	16
Figure 8 - Indicateur du risque sismique de la région PACA (% de pertes simulées sur valeurs totales assurées, à l'échelle des EPCI ou groupements de communes) obtenu pour la valeur d'accélération médiane selon la réglementation en vigueur depuis 2011 (Rey et al., 2016c).	17
Figure 9 - Plan de la ZAC de Plan de Campagne, Géoportail .....	19
Figure 10 - Exemples de bâtiments dont la vulnérabilité aux séismes a été estimée lors de la visite de terrain dans la ZAC de Plan de Campagne (baie vitrée en façade sur l'exemple de gauche ou enseignes suspendue sur celui de gauche et de droite) .....	20
Figure 11 - Répartition du nombre de bâtiments en fonction de la valeur d'indice de vulnérabilité de la ZAC de Plan de Campagne .....	20

## Liste des Tableaux

Tableau 1 - Exemple des résultats provisoires obtenus pour la modélisation des coûts assurés pour un scénario déterministe (séisme type séisme historique de Bouin du 25/01/1799, Mw=6,4 ; profondeur=24 km, voir ci-dessus). Chiffrage pour l'ensemble des territoires touchés.....	16
--	----

# 1. Partenariat CCR-BRGM 2014-2019 et convention d'application risque sismique

Le BRGM et CCR (Caisse Centrale de Réassurance) ont signé en juin 2014 une convention-cadre pour établir un partenariat de recherche collaborative portant sur la période 2014-2019.

CCR est une entreprise de réassurance exerçant son activité de réassurance dans toutes les branches Non-vie et Vie, en France et à l'international. En qualité de réassureur, ayant pour actionnaire l'Etat Français, CCR exerce une mission institutionnelle dans le cadre du régime d'indemnisation des Catastrophes Naturelles en France. Dans le cadre de ce régime d'indemnisation des Cat Nat, CCR est amenée à évaluer l'exposition des territoires français pour des périls naturels couverts par ce régime.

Le BRGM, dans le cadre de sa mission, étudie, collecte, capitalise et diffuse aussi des connaissances relevant de ces mêmes périls.

Les deux partenaires souhaitent ainsi conduire conjointement des programmes communs, destinés à améliorer leur expertise multi-périls des vulnérabilités et la transformation de ces vulnérabilités en approche économique.

En particulier, dans ce cadre, le BRGM et CCR ont décidé de mettre en place un partenariat concernant l'étude de certains périls naturels en France avec pour objectif :

- de réaliser, au titre des périls sélectionnés, une quantification financière de l'exposition des territoires relevant du dispositif d'assurance des catastrophes naturelles, intégrant un catalogue d'événements spatialisés et caractérisés le cas échéant par des périodes de retour ou probabilités annuelles de survenance et basée sur une chaîne de traitement complète de modélisation incluant notamment la caractérisation de l'aléa, l'étude de la vulnérabilité des enjeux modélisés, l'établissement de courbes d'endommagement appropriées et l'évaluation du coût financier ;
- de pouvoir caractériser rapidement le coût prévisible d'un événement qui vient de se produire, en fonction de modélisations aléa-conséquences-coût.

Dans le cadre de ce partenariat des conventions d'applications ont été signées en 2014 et 2015 concernant le risque sismique. Une nouvelle convention annuelle a été signée en 2016. Dans ce domaine, le besoin exprimé conjointement par CCR et le BRGM est de disposer d'une cartographie nationale homogène et cohérente du risque sismique. CCR souhaite aboutir à une vision probabiliste France entière (métropole et Outre-mer) du risque et ce, pour toutes les typologies de bâtiments présentes sur le territoire français (résidences, commerces, bâtiments agricoles et industries).

Pour cela une méthodologie est développée. Elle consiste à réaliser des scénarios de dommages départementaux afin d'évaluer les conséquences financières, pour une source sismique donnée, sur les constructions assurées et relevant du périmètre d'indemnisation du régime Cat Nat. Dans un premier temps les constructions étudiées sont les bâtiments d'habitations individuelles ou collectives. Une méthodologie est par ailleurs en cours de finalisation pour l'évaluation des dommages et des coûts assurés pour les petits bâtiments commerciaux ainsi que pour les zones commerciales. Un travail prospectif est également initié pour les ouvrages agricoles et industriels.

## 2. Actions réalisées dans le programme de travail 2016

### 2.1. QUELQUES DÉFINITIONS

La méthode retenue pour mener à bien le programme de travail 2016 est identique à celle développée pour les programmes de travail 2014 (Rey et Tinard, 2015a) et 2015 (Rey et Tinard, 2015c). Elle s'appuie en particulier sur les définitions suivantes :

- **étude de vulnérabilité sismique** de niveau N0 ou N1 (Sedan *et al.*, 2008) : évaluation de la propension d'un ensemble de bâtiments à subir des dommages en cas de séisme, à partir de l'analyse des caractéristiques structurelles, géométriques ou technologiques susceptibles d'influencer leur comportement.

Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité diffèrent par leur complexité et leur précision. Une méthodologie, développée dans le cadre du projet européen RISK-UE, consiste en une analyse de la vulnérabilité du bâti à vocation résidentielle selon :

- une approche globale statistique par typologie sur la base de données INSEE (zones IRIS), on parle alors de niveau 0 ou N0,

ou

- un compromis entre une approche purement typologique et une approche basée sur le jugement d'expert à partir de visites de terrain, on parle alors de niveau 1 ou N1 ;

- **scénario de risque sismique** de niveau N0 ou N1 (Sedan *et al.*, 2013) : simulation numérique de l'impact et des conséquences d'un séisme de référence sur le milieu, en particulier les personnes et les biens.

Sa mise en œuvre nécessite de :

- caractériser l'agression sismique (aléa). Elle 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 modulée en fonction des effets de site lithologiques ou topographiques locaux,
- inventorier les éléments physiques exposés et en évaluer la vulnérabilité physique sous forme de fonctions d'endommagement,
- calculer les dommages générés par une intensité sismique donnée, c'est-à-dire 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.

Cette dernière étape est réalisée à l'aide d'un logiciel dédié qui a été développé par le BRGM : ARMAGEDOM.

Selon le niveau de précision de l'évaluation de l'aléa et de la vulnérabilité, on parle alors de scénario de dommages :

- de niveau N0 : prise en compte forfaitaire des effets de site (zonages simplifiés EC8), étude de vulnérabilité de niveau N0,
  - ou de niveau N1 : prise en compte spécifique des effets de site, estimation fine de l'aléa, étude de vulnérabilité de niveau N1 ;
- **exercice de crise sismique** (Winter *et al.*, 2008) : exercice consistant à simuler les conséquences d'un événement sismique pour tester les capacités de réponse des acteurs concernés, en particulier les pouvoirs publics. Suite à plusieurs exercices de ce

type conduits par le BRGM (« exercices RICHTER »), une méthode d'élaboration et de mise en œuvre de tels exercices de crise sismique a été stabilisée. Cette méthode est fondée sur la modélisation préalable des dommages aux biens et aux personnes générés par un séisme de scénario. Au-delà de la cohérence spatiale des dommages, cette modélisation fournit une vision réaliste des effets notables d'un séisme à l'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion de crise, et souligne les secteurs les plus vulnérables du territoire impacté.

La réalisation de scénarios de risque sismique dans le cadre de ce programme de travail suit la méthodologie développée pour les exercices de crise sismique.

Un « scénario » représente ici la simulation des dommages engendrés par une sollicitation sismique donnée. La réalisation d'une simulation des dommages nécessite comme données d'entrée :

- la sollicitation sismique ;
- la cartographie des effets de site sur le territoire ;
- la cartographie des enjeux et de leur vulnérabilité.

Chaque scénario consiste en :

- dans un premier temps, le choix de la sollicitation sismique étudiée : celle-ci peut être définie en référence à un mouvement du sol donné (par exemple au regard de l'aléa réglementaire), ou à une source sismique. Dans le second cas, sont d'abord nécessaires l'identification et la caractérisation d'une faille sismogène (géométrie de la faille, mécanisme, sismicité passée,...). Cette caractérisation détermine un domaine de valeurs vraisemblables (« famille de scénarios ») pour les paramètres caractéristiques de la source sismique : localisation et profondeur du foyer, mécanisme, magnitude. Parmi cette famille est retenu arbitrairement un scénario de source sismique ;
- l'évaluation des intensités associées à la sollicitation sismique retenue. Cette caractérisation de la sollicitation sismique complète l'étude des effets de site et l'étude de la vulnérabilité pour fournir l'ensemble des données d'entrée nécessaires à la simulation ;
- le calcul en lui-même (simulation ARMAGEDOM) ;
- enfin, le contrôle et la mise en forme des résultats de ce calcul.

## **2.2. SUIVI DES TRAVAUX**

Plusieurs réunions se sont tenues au cours de l'année 2016 pour suivre l'évolution des travaux effectués. On peut citer les réunions suivantes :

- réunion de lancement du programme de travail risque sismique, le 18 avril 2016 (visioconférence) ;
- réunion dédiée à la présentation à CCR des travaux menés par le BRGM sur le risque tsunami et la propagation des incertitudes, dans les locaux du BRGM à Orléans le 4 juillet 2016 ;
- réunion dédiée à des échanges entre spécialistes du BRGM de CCR sur le sujet des coûts économiques (coûts non-indemnisés dans le cadre du régime Cat Nat et coût de la vie) pour les catastrophes naturelles et notamment les séismes, le 16 septembre 2016 dans les locaux de CCR à Paris ;



- réunion du comité de pilotage CCR-BRGM, dans les locaux du BRGM le 15 décembre 2016.

Ces réunions ont été complétées par des points téléphoniques et des échanges de mails réguliers entre les responsables techniques pour le BRGM (Julien Rey) et CCR (Pierre Tinard).

## **2.3. TÂCHES TECHNIQUES RÉALISÉES EN 2016**

### **2.3.1. Tâche n° 1 – Études relatives au bâti à vocation résidentielle**

La première et principale tâche réalisée en 2016 consistait comme les années précédentes à évaluer les dommages pour le bâti à vocation résidentielle. Ces estimations ont été menées à l'échelle du département. L'ensemble des départements listés ci-après et figurant au programme de travail 2016 ont été traités. Ce programme de travail s'inscrit dans la continuité des scénarios menés en 2014 (Rey et Tinard, 2015a) et en 2015 (Rey et Tinard, 2015c). Les départements situés en zone de sismicité modérée et non encore traités en 2014 ou en 2015 ont été sélectionnés. En particulier les travaux menés ont consisté en :

- traitement et enrichissement par CCR de la base de données du Répertoire d'Immeubles Localisés (« RIL »), nécessaires à l'étude de vulnérabilité sismique ;
- fourniture par CCR au BRGM des données traitées et enrichies précitées, via un serveur partagé FTP (File Transfer Protocol) mis à disposition par le BRGM ;
- évaluation par le BRGM de scénarios de risque sismique de niveau N0 sur les zones d'aléa sismique moyen et modéré (au sens de la réglementation) pour les 11 départements suivants dont la majeure partie du territoire est située en zone de sismicité modérée au sens de la réglementation : Ain (01), Doubs (25), Jura (39), Puy-de-Dôme (63), Nord (59), Haute-Saône (70), Deux-Sèvres(79), Charente-Maritime (17), Vosges (88), Vienne (86) et Charente (16) ;
- synthèse des données d'effets de site lithologiques de niveau N0 du BRGM ou d'autres organismes publics sur les zones d'aléa sismique moyen et modéré (au sens de la réglementation) des 11 départements mentionnés ci-dessus ;
- caractérisation de niveau N0 des effets de site topographiques des 11 départements concernés. Un exemple des résultats obtenus pour un département est donné sur la Figure 1 ci-après ;
- étude de vulnérabilité de niveau N0 des enjeux situés dans la zone d'aléa sismique modéré (au sens de la réglementation) des 11 départements concernés ;
- réalisation de deux scénarios de risque sismique pour chacun des 11 départements concernés.

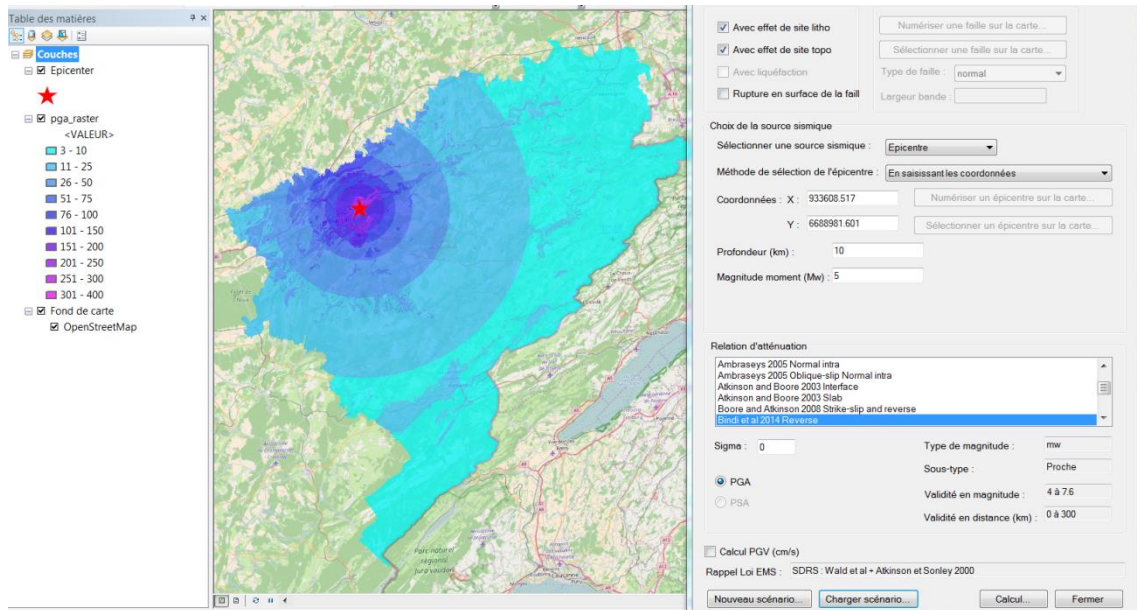


Figure 1 - Exemple des résultats obtenus pour une simulation du mouvement sismique (accélération) avec des effets de site pour un scénario déterministe (Front du Jura à l'Est de Besançon, Mw=5,0, profondeur = 10 km) dans le département du Doubs (25).

Type	Photo
MI1 (<1949)	
MI2 (1950-1974)	
MI3 (1975-1990)	
MI4 ou MI4PS92 (>1990)	
PC1 (<1949)	

Figure 2 - Exemple de typologies constructives identifiées pour évaluer la vulnérabilité des maisons individuelles dans le département de l'Ain (01). Photographies issues de Google Street View. Extrait du fichier de métadonnées du scénario réalisé.

Fourniture par le BRGM à CCR de son évaluation de scénarios de risque sismique de niveau N0 effectuée respectivement pour le compte et à la demande de la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (« DREAL ») des Pays-de-Loire et de la Direction générale de la prévention des risques (« DGPR ») :

- fourniture des résultats de l'étude réalisée pour la DREAL des Pays-de-Loire et intitulée « Impact du séisme de 1799 sur le bâti courant des départements de Loire-Atlantique (44) et de Vendée (85) » (Rey *et al.*, 2016d) ;
- synthèse des données d'effet de site de niveau N0 déjà acquises par le BRGM sur les zones d'aléa sismique modéré ou faible (au sens de la réglementation) du département du Bas-Rhin (67). Synthèse des données de vulnérabilité sismique de niveau N0 déjà

acquises par le BRGM sur les zones d'aléa sismique modéré et faible (au sens de la réglementation) du département du Bas-Rhin (67) ;

- réalisation d'un scénario de risque sismique pour le département du Bas-Rhin (67).

Pour la totalité des départements concernés, les simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel Armagedom<sup>®</sup> développé par le BRGM (Sedan *et al.*, 2013). Un exemple des résultats obtenus est présenté ci-dessous sur la Figure 3 pour le département du Bas-Rhin.

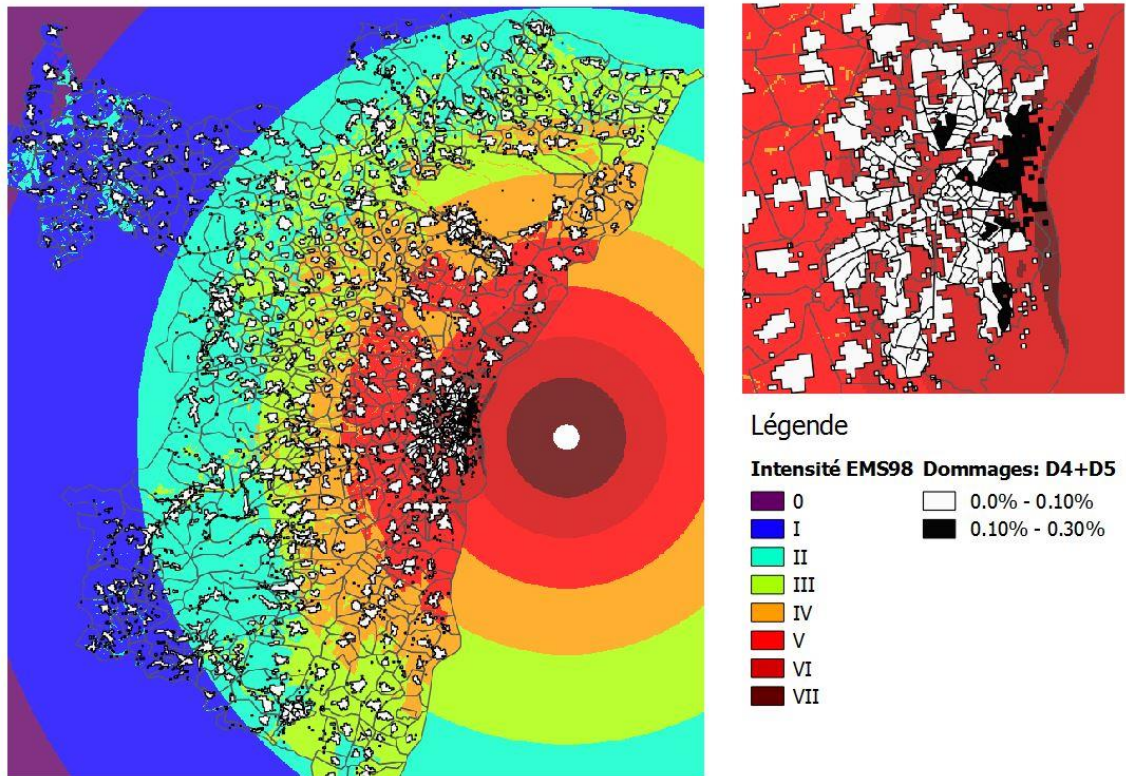


Figure 3 - Exemple des résultats obtenus pour une simulation du mouvement sismique (intensités) avec des effets de site pour un scénario déterministe dans le département du Bas-Rhin (séisme sur le graben du Rhin supérieur de magnitude  $M_w=5,0$  et de profondeur 10 km, type séisme d'Offenburg 17/07/1574,  $M_w$  5.1). Taux de dommages de niveau D4 et D5 (effondrement partiel ou total).

Évaluation par le BRGM de scénarios de risque sismique de niveau N0 supplémentaires :

- réalisation de deux (2) scénarios de risque sismique pour des séismes historiques ayant affecté des départements déjà traités : Rambervillers, 2003 (département 88) et séisme de Bouin de 1799 (départements 44 et 85). Calcul du scénario de dommages relatif aux sources historiques (magnitude et localisation estimées par le CEA/LDG) et mise en forme des résultats ;
- réalisation d'un scénario de risque sismique pour le département du Bas-Rhin (67), (Rey *et al.*, 2016c).

Des illustrations des résultats obtenus en termes de dommages sont présentées sur la Figure 4 ci-dessous pour le séisme de Bouin de 1799.

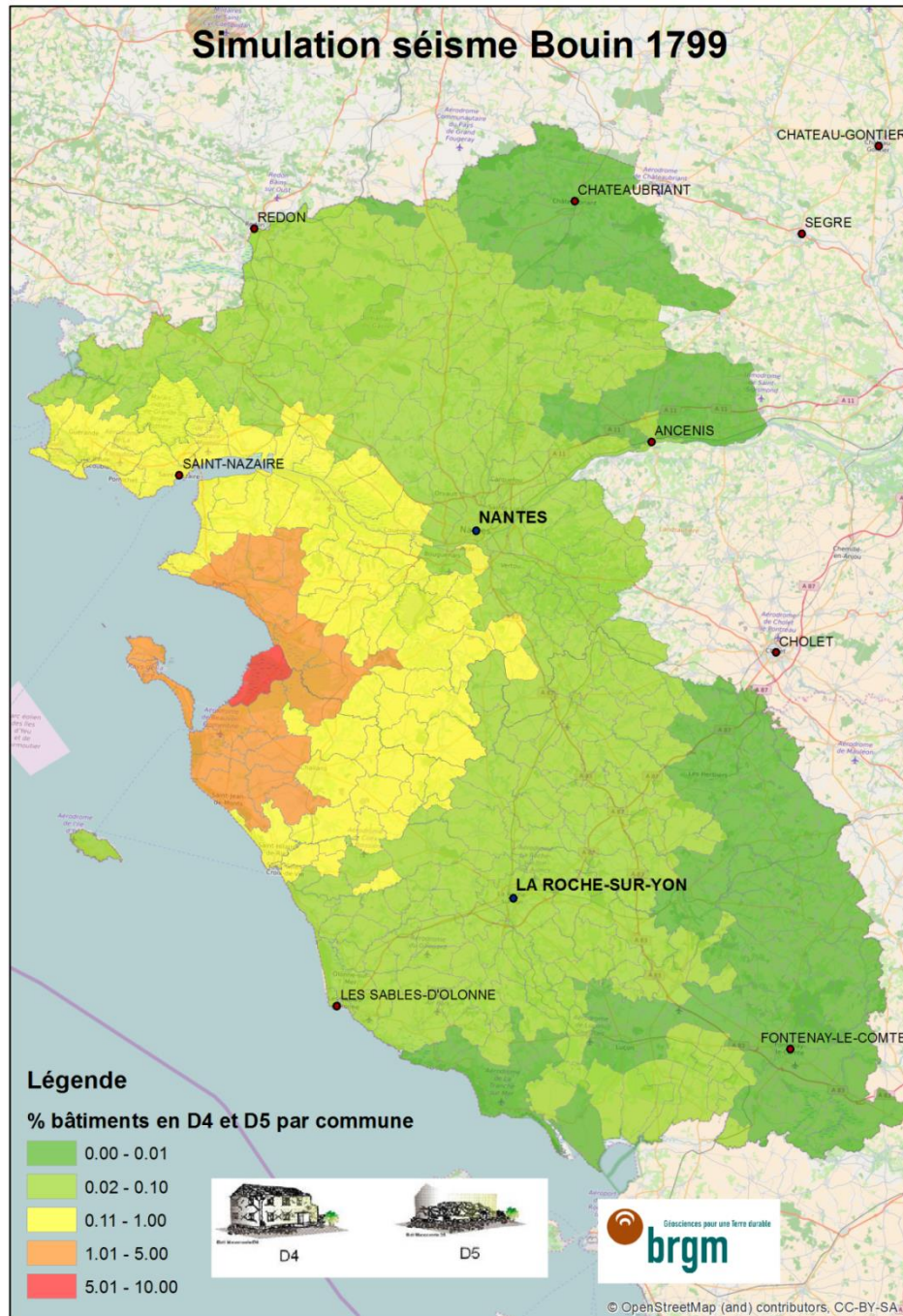


Figure 4 - Estimation des pourcentages de bâtiments présentant des états de dommages D4 et D5 (bâtiments fortement endommagés ou détruits) en Loire-Atlantique et en Vendée pour le séisme de Bouin du 25 janvier 1799 ( $M_w=6.4$ , profondeur 23 km, prolongation de la faille de Noirmoutier vers l'Est). Restitution à l'échelle communale.

Définition par le BRGM et CCR d'une méthodologie simplifiée pour réaliser des scénarios de risque sismique dans des départements en zone de sismicité faible dans le cas le plus défavorable. La méthodologie mise en place consiste à traiter de façon statistique l'ensemble du territoire situé en zone de sismicité faible. La sollicitation sismique est alors uniquement considérée de façon probabiliste, la définition d'un scénario déterministe n'étant pas possible pour ces régions où la sismicité est faible. Cette méthodologie pourra ensuite directement être appliquée en 2017 aux 27 départements dont le territoire est classé en zone de sismicité faible dans le cas le plus défavorable ainsi qu'aux zones de sismicité faible des

11 départements traités en 2016. Des illustrations extraites de la note présentant cette méthodologie simplifiée sont présentées ci-dessous.

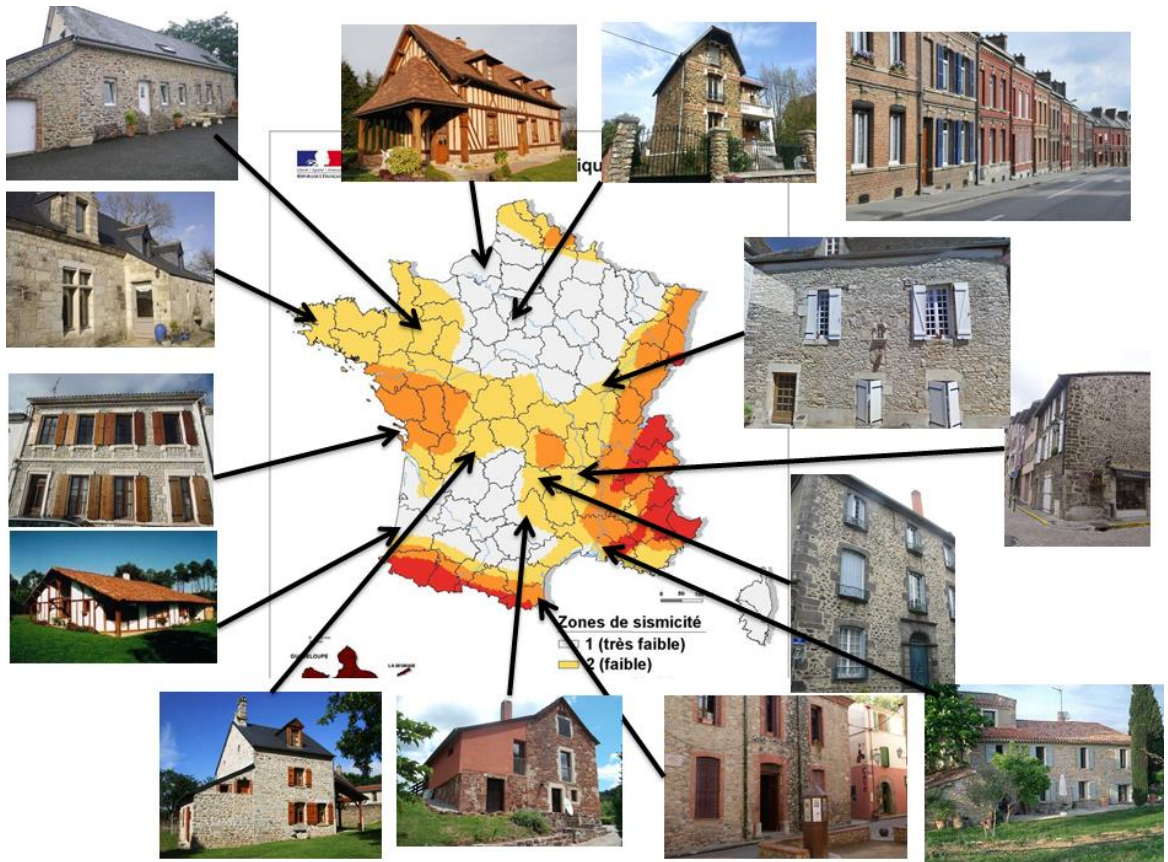


Figure 5 - Schéma représentant des exemples de typologies de maisons traditionnelles des différentes régions françaises en zone de sismicité faible.

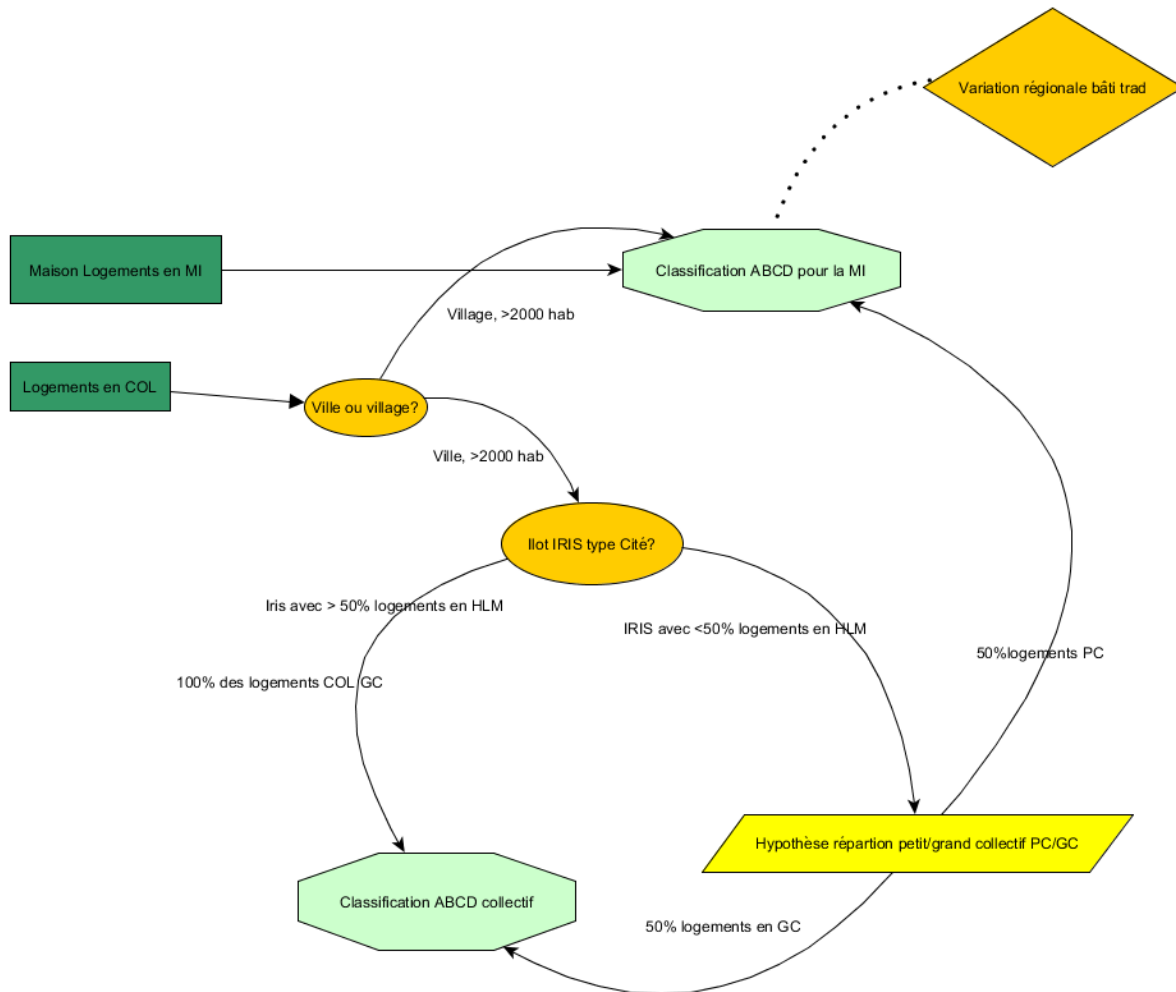


Figure 6 - Schéma proposé pour proposer des classes de vulnérabilité standards (ABCD selon l'EMS98) à partir de la donnée INSEE recensement 2012.

Modélisation par CCR des coûts assurés à partir des résultats de simulation en sortie d'ARMAGEDOM. CCR établit une modélisation de ces coûts et ce, 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. CCR veillant notamment à établir des matrices de passage « endommagement  $\leftrightarrow$  taux de destruction » dans l'état de l'art et en exploitant les données issues des études de vulnérabilité.

Le BRGM apporte ponctuellement son appui, sur demande de CCR, pour l'interprétation et l'exploitation des résultats obtenus.

Ce chiffrage des coûts assurés porte aussi bien sur les risques dits de particuliers (maisons, appartements et immeubles) que sur les risques professionnels localisés dans des bâtis à vocation résidentiel (exemple : commerce au rez-de-chaussée des immeubles en zone urbaine) que CCR a préalablement identifiés grâce à ses différentes bases de données.

Pour la totalité des départements modélisés et pour la totalité des scénarios considérés, ont été évalués, pour chaque typologie de bâti considéré et pour chaque état d'endommagement

modélisés via ARMAGEDOM, les coûts probables associés selon la résolution N0 des zones IRIS.

Le BRGM a apporté ponctuellement son appui à CCR pour l'interprétation et l'exploitation des résultats obtenus par le biais d'échanges téléphoniques.

Des exemples de résultats sont présentés ci-dessous pour le scénario déterministe du séisme de Bouin du 25 janvier 1799 en Vendée et Loire-Atlantique.

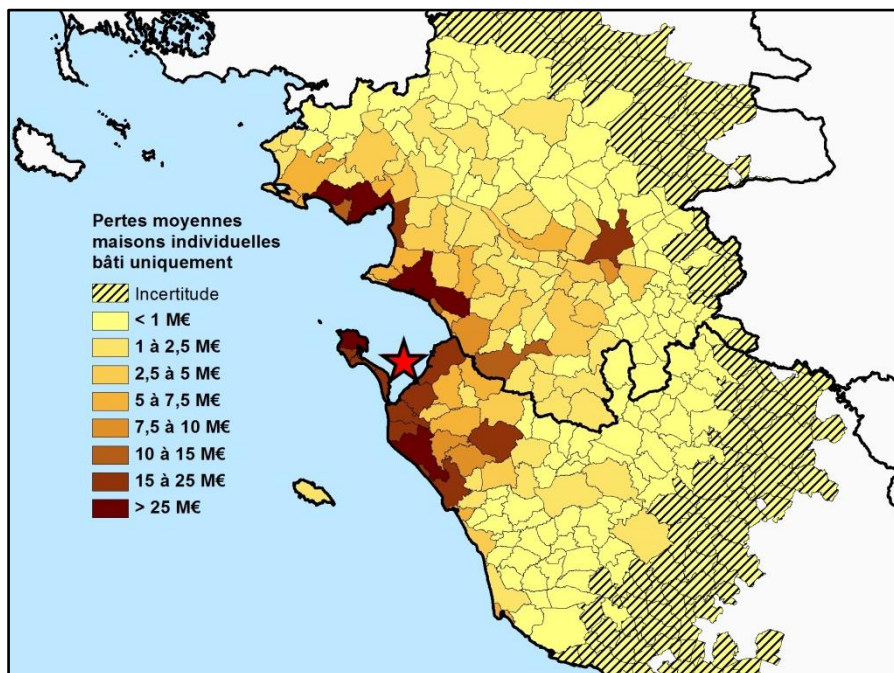


Figure 7 - Exemple des résultats obtenus pour la modélisation des coûts assurés pour un scénario déterministe pour les départements de Loire-Atlantique et de Vendée (séisme type séisme historique de Bouin du 25/01/1799, Mw=6,4 ; profondeur=24 km) (fond cartographique : BD TOPO®).

Maisons individuelles	
bâti	560 - 890 M€
contenu	270 - 435 M€
Appartements et immeubles	
bâti	380 - 425 M€
contenu	40 - 65 M€
Commerces de proximité	
bâti	<i>inclus dans les immeubles</i>
contenu	160 - 425 M€
pertes d'exploitatic	30 - 75 M€

Tableau 1 - Exemple des résultats provisoires obtenus pour la modélisation des coûts assurés pour un scénario déterministe (séisme type séisme historique de Bouin du 25/01/1799, Mw=6,4 ; profondeur=24 km, voir ci-dessus). Chiffrage pour l'ensemble des territoires touchés.

Les livrables correspondants à cette tâche ont été transférés sur un serveur ftp dédié à cela. Ils consistent principalement en des couches SIG au format .shp des effets de site, de la vulnérabilité des enjeux ainsi que des fichiers de sortie des simulations ARMAGEDOM au format ESRI .gdb (géodatabase fichier) présentant l'ensemble des résultats de l'endommagement sur le bâti et le logement. Ces documents ont été classés selon une



arborescence homogène partagée entre BRGM et CCR. En particulier les résultats sont classés par zones géographiques puis par départements (voir Rey et Tinard, 2015a et 2015c).

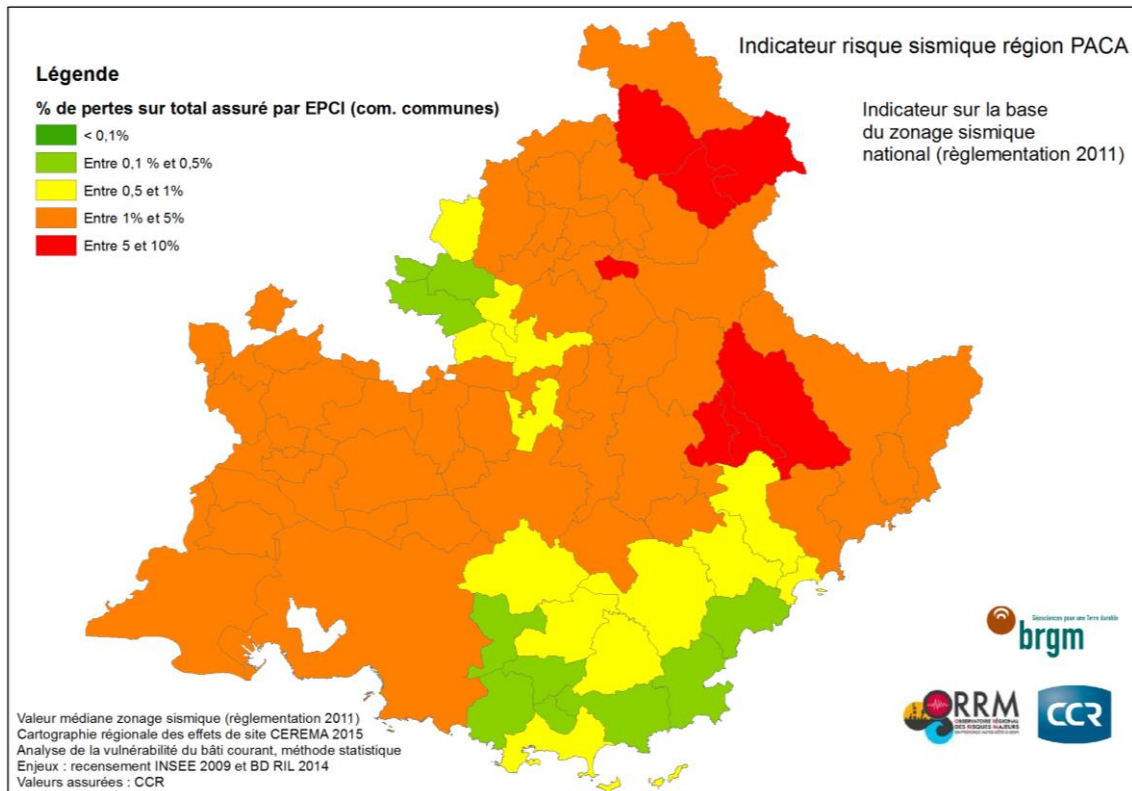


Figure 8 - Indicateur du risque sismique de la région PACA (% de pertes simulées sur valeurs totales assurées, à l'échelle des EPCI ou groupements de communes) obtenu pour la valeur d'accélération médiane selon la réglementation en vigueur depuis 2011 (Rey et al., 2016c).

### 2.3.2. Tâche n° 2 - Études complémentaires concernant les préjudices non couverts par la garantie catastrophes naturelles

Au cours des travaux menés en 2014 et 2015 il est apparu important de procéder à une étude des dommages consécutifs à une catastrophe naturelle résultant d'un séisme non couverts par la garantie des catastrophes naturelles. Les pertes suivantes ont été identifiées : pertes d'exploitation subies par des entreprises non touchées par la catastrophe naturelle (ex. : pertes d'exploitation en raison de ruptures de réseaux ou de circuits d'approvisionnement), pertes financières en raison de dommages aux personnes (décès ou blessures), pertes liées aux dommages environnementaux, pertes immatérielles liées à l'évènement par exemple en terme « d'image » (pertes touristiques, ...).

Il est apparu intéressant d'essayer d'établir un chiffrage du coût économique global d'un évènement allant au-delà des seuls dommages couverts par la garantie catastrophes naturelles. Pour cela les travaux préparatoires suivants ont été menés en 2016 :

- réalisation d'une étude bibliographique par le BRGM sur l'évaluation des pertes humaines et des typologies de blessures. Un retour d'expérience sommaire sur des évènements survenus en France ou dans des contextes proches (Italie, Espagne) a en particulier été réalisé, même si peu de données et publications sont disponibles et que la plupart des travaux relèvent de l'épidémiologie alors qu'a contrario très peu d'études traitent du bâti comme facteur de risque ;

- prise de contact avec des collaborateurs de CCR à même d'apporter un soutien pour une première analyse du coût financier (indemnisation au sens assurantiel) des décès et blessures graves selon les typologies observées lors des séismes en contexte européen. L'objectif de la réunion qui a eu lieu en septembre dans les locaux de CCR était de pouvoir mettre en place ensuite une méthodologie pour la prise en compte du « coût moyen » pour les décès et les préjudices corporels graves afin de compléter le bilan financier des coûts financiers assurés ;
- évaluation de la possibilité de prise en compte des pertes non couvertes par la garantie des catastrophes naturelles. Mise en place d'échanges pour la construction d'un programme de travail entre les économistes du BRGM et les collaborateurs de CCR travaillant sur le sujet afin d'estimer les pertes financières indirectes. Il ne s'agissait pas à ce stade pas d'une évaluation complète ni d'une analyse reproductible mais uniquement de prise de contacts et de recensement des méthodologies/outils disponibles et des besoins réciproques.

### **2.3.3. Tâche n° 3 – Études relatives aux zones commerciales**

#### ***ZAC d'Olivet***

Dans cette troisième tâche concernant les zones commerciales, les travaux menés sont dans la prolongation des travaux préparatoires réalisés en 2014 (Rey et Tinard, 2015a) et en 2015 (Rey et Tinard, 2015c). Pour rappel les travaux menés en 2014 et 2015 consistaient à établir un état de l'art des connaissances dans ce domaine sur la base d'une recherche bibliographique et des retours d'expérience ainsi qu'à identifier une zone supposée représentative en métropole. La zone choisie était la Zone d'Activité Commerciale (ZAC) des Provinces à Olivet (45), qui se trouve proche du BRGM. Cela avait été l'occasion d'établir une étude de vulnérabilité détaillée de niveau N1 (voir §2.1) pour cette zone d'activité cible.

L'étude a consisté en 2016 à vérifier que les typologies identifiées pour la ZAC d'Olivet, Loiret (45) en 2015 étaient standards et donc bien transposables dans d'autres contextes métropolitains en zone sismique. La zone commerciale retenue pour poursuivre l'étude en 2016 est celle de Plan-de-Campagne dans les Bouches-du-Rhône.

#### ***ZAC de Plan de Campagne***

Cette zone d'activité a été sélectionnée en prenant en compte une approche multi-périls (séismes et inondations par ruissellement). Un scénario de niveau N1 a été réalisé sur cette zone commerciale beaucoup plus étendue que celle d'Olivet.

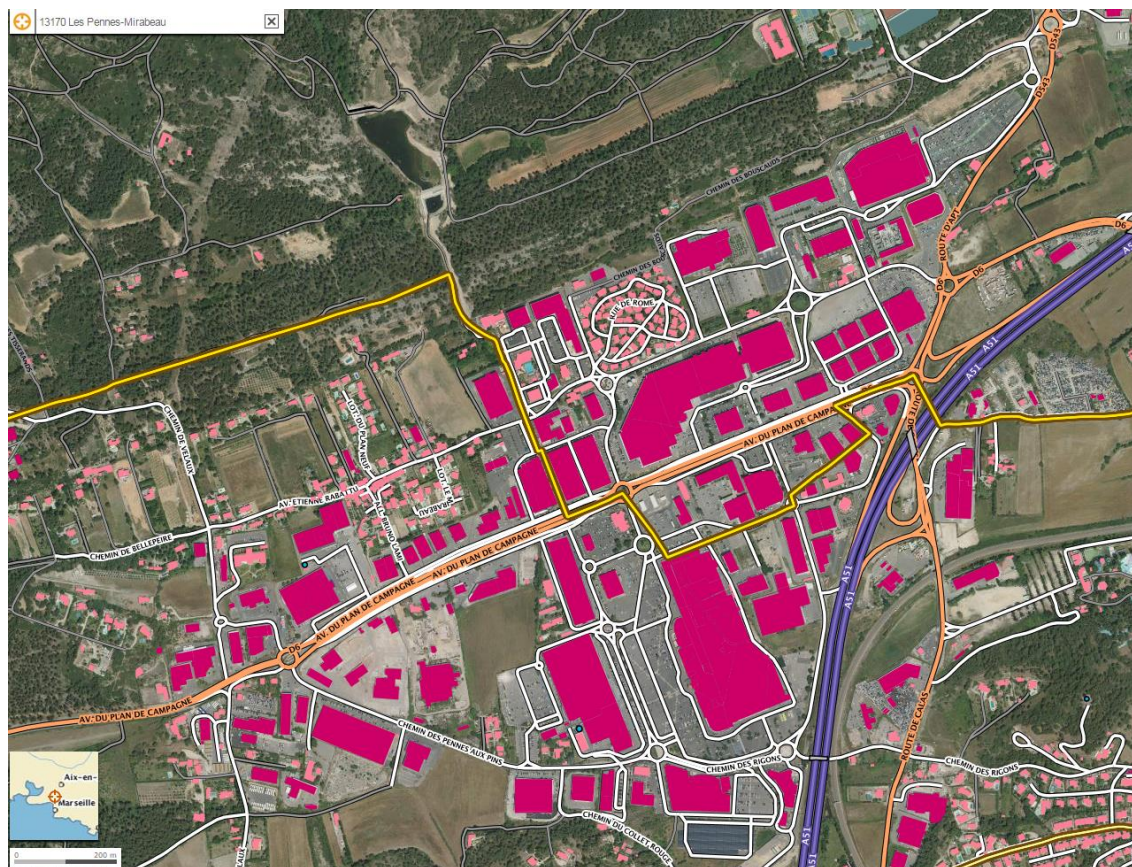


Figure 9 - Plan de la ZAC de Plan de Campagne, Géoportail.

Ce travail peut ainsi ensuite être transposé dans d'autres zones commerciales situées dans des zones sismiques et soumises aux mêmes sollicitations en termes d'intensité. Cette transposition se fait en évaluant une typologie moyenne des bâtiments recensés dans ce type de ZAC issue des exemples étudiés à Olivet et dans les Bouches-du-Rhône. Cette typologie moyenne est ensuite appliquée à l'ensemble des bâtiments de la ZAC considérée. Cette méthodologie de transposition pourra être appliquée en 2017 aux autres zones commerciales des départements traités.

Cette zone est une des premières à avoir ouvert en France (1960), elle est à ce jour la plus grande d'Europe. Elle s'étend sur les communes de Cabriès et les Pennes-Mirabeau. Les données générales sont : 46 hectares, 460 enseignes (7 500 emplois), 250 000 m<sup>2</sup> de locaux, 2 millions de visiteurs par mois, un bâti diversifié (petits magasins, centre commercial, grande surface, garages, etc.).

Pour des raisons pratiques, l'inventaire de terrain a été limité aux commerces non inclus dans des centres commerciaux (Barneoud, Avant Cap, Domexpo). Au total 175 établissements ont été inventoriés. La typologie employée en 2015 pour la ZAC d'Olivet a été améliorée pour mieux prendre en compte le contenu et le second œuvre.



Figure 10 - Exemples de bâtiments dont la vulnérabilité aux séismes a été estimée lors de la visite de terrain dans la ZAC de Plan de Campagne (baie vitrée en façade sur l'exemple de gauche ou enseignes suspendue sur celui de gauche et de droite).

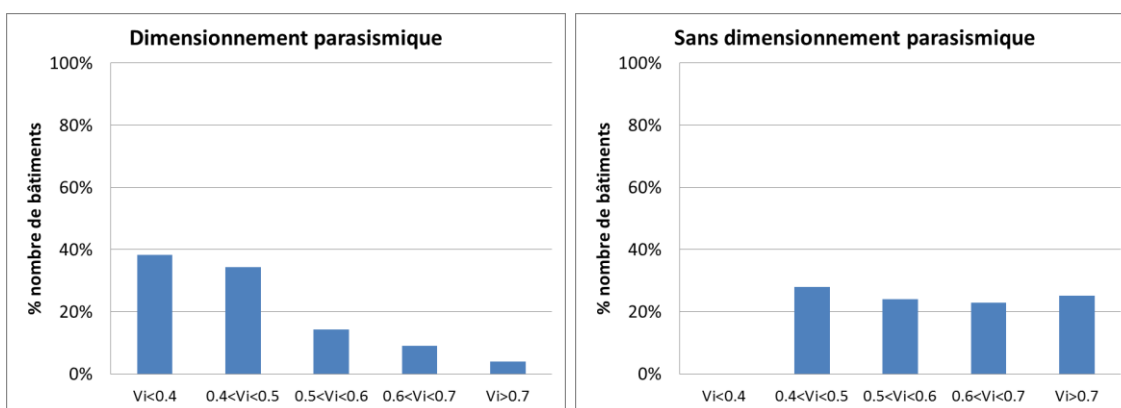


Figure 11 - Répartition du nombre de bâtiments en fonction de la valeur d'indice de vulnérabilité de la ZAC de Plan de Campagne.

Une note a été produite pour synthétiser ces résultats et servira de référence pour la généralisation de la méthodologie développée à l'ensemble des zones commerciales en 2017.

#### 2.3.4. Tâche n° 4 – Études relatives aux bâtiments agricoles et industriels

Sur le modèle du travail mené pour les bâtiments commerciaux, l'état des lieux réalisé en 2015 pour l'estimation de la vulnérabilité des bâtiments agricoles et industriels est complété. Cela consiste en une étude bibliographique recensant les méthodologies disponibles dans la littérature, les retours d'expérience, etc. Ces travaux permettent de développer des méthodes d'analyse de la vulnérabilité de ce type de structures très particulières afin de réaliser dans les éventuels prochains programmes de travail des scénarios de risque sismique de niveau N1 pour des zones où ce type de bâtiments sont recensés. En particulier la littérature relative au comportement des rayonnages et autres structures de stockage de produits lors de la survenance d'un séisme a été recensée et synthétisée. Les retours d'expérience menés suite aux séismes récents en Italie (août/octobre 2016), auquel le

BRGM a participé et en Nouvelle-Zélande (novembre 2016), pays dans lequel le BRGM et CCR ont des contacts, seront l'occasion d'approfondir ces travaux.

Par ailleurs des contacts devaient être établis avec des organismes français ou étrangers ayant une expertise dans ce domaine et/ou avec des industriels afin d'établir un programme de travail dédié sur des cas d'études concrets (par exemple un parc de bâtiments industriels). Ceci n'a pu être réalisé en 2016 et sera proposé dans le cadre des travaux à mener en 2017.

De plus, en complément de la tâche 2 ci-dessus (voir §2.3.2), une première analyse a été menée sur la quantification des dommages directs et des conséquences indirectes tels les dommages environnementaux pour l'estimation du coût économique global de défaillances-types suite à un événement-type sur installations industrielles. Ces travaux ont été menés en complément des études menées sur ce sujet par le BRGM pour d'autres périls et n'ont pas fait l'objet de développements méthodologiques. Ils sont ainsi restés circonscrits aux compétences acquises par le BRGM sur ce sujet et ont simplement fait l'objet d'une présentation à CCR. Des contacts devaient être pris avec une DREAL ou un industriel pour identifier un cas d'étude possible sur lequel mener ce type d'étude dans les prochaines années. Ceci n'a également pu être réalisé en 2016 et sera proposé dans le cadre des travaux à mener en 2017.

### **2.3.5. Tâche n° 5 – Études relatives à l'évaluation des incertitudes**

Plusieurs actions avaient été menées en 2015 afin de caractériser les incertitudes associées aux simulations (scénarios de risque sismique). Il s'agissait principalement d'études menées en opportunité sur des scénarios dans des zones ou des données complètes et/ou précises étaient disponibles. Le but n'était alors pas de propager toutes les incertitudes dans toute la chaîne de traitement, ni même de quantifier toutes les sources d'incertitudes, mais d'évaluer des intervalles de résultats en faisant varier un paramètre de l'étude parmi une gamme de valeurs réalistes. Ceci a été poursuivi en 2016 sur les 11 nouveaux départements traités cette année. En particulier cela a consisté en :

- la caractérisation de la période de retour associée aux scénarios des simulations ;
- des estimations d'incertitudes réalisées pour le compte et à la demande de la DGPR (Rey *et al.*, 2016b), pour le département du Bas-Rhin.

De plus le 4 juillet à Orléans, une présentation a été faite par le BRGM à CCR des résultats obtenus à l'issue du travail postdoctoral réalisé en 2016 au sein du BRGM sur ce sujet de la propagation des incertitudes dans les scénarios de risques. Cela a été l'occasion de proposer que ces travaux soient poursuivis les prochaines années par le BRGM et CCR. Ils pourront faire l'objet d'un programme de travail détaillé pour la convention spécifique risque sismique 2017.

En outre, les Partenaires ont décidé de cofinancer dès 2016 une thèse portant sur la prise en compte des incertitudes dans une approche multi-risques. Cette thèse devait être initiée en septembre 2016. Cependant l'échec du recrutement de candidat a mené à repousser son début à 2017. Les partenaires ont défini un cas d'étude concret ainsi qu'un programme de travail à mener sur ce sujet par le doctorant les prochaines années.

### **2.3.6. Tâche n° 6 – Études préliminaires concernant le risque tsunami**

Il est apparu valorisant de confronter l'expertise du BRGM concernant le risque tsunami avec les besoins exprimés par CCR sur ce risque. En particulier les méthodologies utilisées par le BRGM pour évaluer le risque tsunami ont été présentées à CCR. Par ailleurs les codes de

calculs utilisés par CCR pour ce risque peuvent être confrontés sur un exemple concret aux simulations réalisées par le BRGM. Par la suite les résultats sur un cas d'étude pourront être transmis à CCR pour comparaison avec les résultats obtenus avec le code TELEMAC développé par EDF.

Ainsi en 2016 une première prise de contact sur ce sujet a été effectuée lors d'une réunion tenue le 4 juillet à Orléans. Il s'agissait d'une présentation technique des travaux menés par le BRGM dans le domaine du risque tsunami (définition des sources, du mécanisme de propagation en mer et enfin de la modélisation de la propagation des vagues de submersion) au cours d'une réunion d'échanges avec les intervenants techniques de CCR concernés par ce péril.

Un programme d'études conjointes pourra ensuite être défini sur ce sujet pour les prochaines années.

#### **2.4. ACTIONS DE COMMUNICATION ET DE VALORISATION**

Les deux partenaires ont présenté une sélection des travaux menés en 2014 (Rey et Tinard, 2015a) et en 2015 (Rey et Tinard, 2015c) lors d'une communication sous forme de poster à l'occasion des Assises Nationales des Risques Naturels qui se sont tenues le 21 et 22 mars 2016 à Marseille (Rey et Tinard, 2016).

Le partenariat et les premiers résultats obtenus ont par ailleurs été présentés à l'occasion d'une conférence de presse organisée le 18 novembre 2016 de façon conjointe par le BRGM et CCR à propos des travaux menés sur le risque sismique. Un dossier de presse a été produit à cette occasion. Suite à cet événement plusieurs retombées sont recensées dans la presse écrite (Le Parisien, La Dépêche du Midi, La République du Centre, l'AGEFI, L'actuariat, ...), en ligne (Le Journal de l'Environnement, Actu-Environnement, ...) ou radio (RTL, France Bleu Alsace, Outre-Mer Première). Par ailleurs des contacts sont établis pour d'éventuelles utilisations ultérieures des résultats présentés (France 3).

## 3. Difficultés rencontrées et perspectives

### 3.1. DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

Il est à noter que les partenaires n'ont pas identifié de difficultés bloquantes au cours des travaux menés en 2016. Les principales difficultés rencontrées au cours de la réalisation du programme de travail 2016 sont les suivantes :

- ▶ démarrage tardif des travaux 2016 du fait des délais de signature de la convention d'application ;
- ▶ articulations délicates avec les études menées sur le même sujet pour la DREAL PACA, la DREAL Pays-de-la-Loire et la DGPR (les plannings et obligations contractuelles ne sont pas forcément totalement en phase) ;
- ▶ phasage des études à optimiser pour la bonne réalisation des scénarios : par exemple les études de sols menées dans d'autres projets devaient être impérativement finalisées avant la réalisation des scénarios de dommages départementaux ;
- ▶ les travaux sur les bâtiments industriels n'ont pu être complètement menés du fait d'un manque de contacts identifiés dans le monde académique, au niveau des services de l'Etat ou parmi les industriels ;
- ▶ les importants temps de préparation, de réalisation et de suivi de la conférence de presse n'avaient pas été anticipés et en particulier ils n'étaient pas prévus dans la planification des travaux à réaliser en 2016. Les deux organismes ont mobilisé pour cet événement leurs moyens propres, comme prévu dans la convention.

Les principales pistes d'amélioration identifiées pour remédier à ces difficultés consistent, comme déjà relevé les années précédentes, en une meilleure anticipation des besoins mutuels des partenaires. Pour cela il convient d'avoir des idées de développement sur chaque item le plus en amont possible pour bien cadrer les futurs programmes de travail et initier rapidement les diverses procédures (recrutement post-doc ou thésard, achat licences, valorisation, ...).

La finalisation du programme de travail pour 2017 est donc espérée en début d'année, afin de ne pas commencer les travaux tard dans l'année comme cela a été le cas les années précédentes.

### 3.2. PERSPECTIVES

Sur la base des travaux menés les années précédentes un programme de travail sera établi conjointement par CCR et le BRGM pour l'année 2017. Les mêmes tâches principales seront identifiées. Les scénarios de dommages seront réalisés pour tous les départements situés en zone sismique faible. Les travaux portant sur les incertitudes et la probabilisation des événements pourront être poursuivis, selon la méthodologie développée en 2016. Le champ d'application des scénarios de risque pourra être encore progressivement élargi à des bâtiments non résidentiels et les coûts économiques au sens large pourraient être petit à petit évalués, en se limitant dans un premier temps aux coûts financiers assurés, compris ou non dans le régime Cat Nat.

## 4. Bibliographie

- 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.
- 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), 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. et Tinard P. (2016)** – Evaluation du risque sismique en région PACA et implications financières pour le régime Cat Nat. Assises nationales des risques naturels 2016, 21-22 mars 2016, Marseille.
- Rey J., Monfort Climent D. avec la collaboration de Pierre Tinard (CCR) (2016a)** – 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.
- Rey J., Abad J., Monfort Climent D. avec la collaboration de Pierre Tinard (CCR) (2016b)** – Estimation des pertes à l'échelle départementale liées à un scénario de risque sismique pour le Bas-Rhin (67). Rapport final en préparation.
- Rey J., Abad J., Marçot N., Monfort Climent D. (2016c)** – Estimation des pertes financières assurées relatives au risque sismique en PACA : retour d'expérience sur le séisme de l'Ubaye de 2014 et production d'indicateurs de risque sismique à l'échelle régionale. Rapport final. BRGM/RP-66095-FR, 63 p., 20 fig., 11 tabl., 1 ann.
- Rey J., Monfort Climent D. avec la collaboration de Pierre Tinard (CCR) (2016d)** – 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.
- Sedan O., Terrier M., Negulescu C., Winter T., Douglas J., Roullé A., Rohmer J., Bès de Berc S., De Martin F., Arnal C., Dewez T., Fontaine M. (2008)** – Scénario départemental de risque sismique- Méthodologie et processus de réalisation. Rapport BRGM/RP-55415-FR, 455 p., 96 fig., 45 tabl., 25 annexes.
- Sedan O., Negulescu C., Terrier M., Roullé A., Winter T., Bertil D. (2013)** – Armagedon – A Tool for Seismic Risk Assessment Illustrated with Applications. *Journal of Earthquake Engineering*, Volume 17, Issue 2, p. 253-281, 2013.
- Winter T., Bès de Berc S., Cova P., Sedan O., Audru J.C., Terrier M., (2008)** – Méthodologie pour la réalisation d'un exercice de crise sismique de type « Richter ». Rapport BRGM RP-57237-FR, 229 p., 31 fig., 14 tabl., 4 ann.





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)