



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Document à accès immédiat

# Aléa sismique sur le secteur de Saint-Louis Agglomération (68) – Synthèse des données disponibles et propositions d'actions

Rapport final

**BRGM/RP-71313-FR**

Version 1 du 31 janvier 2022

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

**Badinier G., Grabenstaetter L., Hoste Colomer R. & Roullé A.**

**Vérificateur :**

Nom : F. Quesnel

Fonction :

Date : 07/12/2021

Signature :

**Approbateur :**

Nom : D. Salquèbre

Fonction : Directeur Régional Délégué  
Grand Est

Date : 08/12/2021

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)



*Liberté • Égalité • Fraternité*  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DU HAUT-RHIN

## Avertissement

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

## Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



**Mots clés :** Risque naturel, risque sismique, synthèse bibliographique, microzonage sismique, Alsace, Haut-Rhin, Saint-Louis Agglomération, Saint-Louis

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

**Badinier G., Grabenstaetter L., Hoste Colomer R. & Roullé A. (2022)** – Aléa sismique sur le secteur de Saint-Louis Agglomération (68) – Synthèse des données disponibles et propositions d'actions. Rapport final V1. BRGM/RP-71313-FR, 40 p.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.  
IM003-MT008-P2-21/09/2021

## Synthèse

L'objectif de la présente étude est d'appuyer la DDT du Haut-Rhin pour réaliser un état des lieux des données et études existantes sur le risque sismique sur l'agglomération de Saint-Louis. L'objectif est de proposer, pour une phase ultérieure (phase 2), une étude technique d'estimation du risque sismique, qui soit en adéquation à la fois avec les besoins exprimés par la DDT et les données scientifiques disponibles.

Ainsi ont pu être identifiées comme données intégrables dans une étude postérieure :

- Des données géologiques (cartographies, forages, modèles numériques, structurales) ;
- Des données sismiques (base de données événementielle, base de données des failles actives, base de données géophysiques).

Si certaines de ces données sont utilisables en l'état (base de données des log validés), la plupart devront faire l'objet d'études complémentaires ou de validation.

L'étude des données disponibles a permis de proposer à la DDT du Haut-Rhin 2 actions possibles à mettre en place pour améliorer la connaissance du risque sismique sur l'agglomération de Saint-Louis.

La zone d'étude étant très vaste (268 km<sup>2</sup>), il est préconisé de travailler à différentes échelles et en phasant le travail. Dans un premier temps, il est proposé, de réaliser des scénarii de risque sur l'ensemble de l'agglomération de Saint-Louis pour le bâti courant, en incluant éventuellement les réseaux et les bâtiments stratégiques (écoles, mairies, hôpitaux, centres de gestion de crise, etc...). Ces derniers seraient traités de façon statistique. L'échelle de restitution cible serait celle du 1/50 000.

Dans un deuxième temps, pour les zones à plus haut risque identifiées d'après les résultats des scénarii, une étude spécifique 1D pourrait être réalisée pour aboutir à un microzonage sismique avec obtention de classes de sol et spectres spécifiques. L'échelle de restitution cible serait alors celle du 1/25 000 ou du 1/10 000 dans les zones à enjeux. Ce microzonage pourrait inclure une étude spécifique 3D pour tenir compte des potentiels effets aggravants liés à la géométrie du bassin.



## Sommaire

1. Contexte et objectifs de l'étude .....	9
1.1 Objectifs .....	9
1.2 Contexte.....	9
2. Synthèse des données récoltées.....	11
2.1 Données géologiques.....	11
2.1.1 <i>Origine et types de données</i> .....	11
2.1.2 <i>Rappel sur les formations géologiques de la zone d'étude</i> .....	13
2.1.3 <i>Les cartes géologiques</i> .....	16
2.1.4 <i>Les données de forages</i> .....	18
2.1.5 <i>Les données sismiques</i> .....	22
2.1.6 <i>Les données structurales</i> .....	22
2.1.7 <i>Conclusion sur la qualité des données récoltées</i> .....	25
2.2 Modèle géologique disponible .....	26
2.2.1 <i>Cartes d'isohypses</i> .....	27
2.2.2 <i>Cartes d'épaisseur</i> .....	28
2.2.3 <i>Coupes géologiques</i> .....	28
2.3 Données d'Aléa sismique .....	30
2.3.1 <i>Catalogue de sismicité régional</i> .....	30
2.3.2 <i>Failles actives</i> .....	30
2.3.3 <i>Données Géophysiques</i> .....	31
2.4 Données de vulnérabilité des enjeux et risques.....	32
2.4.1 <i>Scénarii de risque sismique issus du partenariat CCR-BRGM</i> .....	32
2.4.2 <i>Vulnérabilité du bâti alsacien issue de l'étude du BCSF et scenarii associés</i> .....	35
3. Propositions d'actions pour l'amélioration de la connaissance du risque sismique sur l'agglomération de Saint-Louis .....	37
3.1 Scénario de risques.....	37
3.2 Microzonage sismique.....	38
3.3 Tableau comparatif synthétique .....	38
4. Conclusion .....	39
5. Bibliographie .....	41

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude .....	9
Illustration 2 : Emprise de la zone d'étude – carte des communes de Saint-Louis Agglomération ( <a href="https://www.agglo-saint-louis.fr">https://www.agglo-saint-louis.fr</a> ) .....	10
Illustration 3 : Exemple de log de forage disponible en BSS (forage 04764X0032) .....	11
Illustration 4 : Log validé du forage 04457X0060 (commune de Ranspach-le-Haut ; centre-ouest de la zone d'étude) .....	12
Illustration 5 : Diagramme de Wheeler de la partie Sud du fossé rhénan présentant les principales formations géologiques et événements (érosion, non dépôt, diapirisme) (Gabalda, et al., 2013) .....	15
Illustration 6 : Zone d'étude replacée sur la carte géologique harmonisée du BRGM à l'échelle 1/50 000.....	16
Illustration 7 : Cartes géologiques numériques allemandes (carte de l'Allemagne à l'échelle 1/1 000 000) et suisses (cartes de Basel et Arlesheim à l'échelle 1/25 000) disponibles, replacées au niveau de la zone d'étude .....	17
Illustration 8 : Carte de densité des forages numériques disponibles actuellement (LGV) calculée sur la zone d'étude.....	18
Illustration 9 : Carte de densité des forages numériques (LGV) et des forages de la BSS potentiellement utilisables, calculée sur la zone d'étude .....	19
Illustration 10 : Carte des forages potentiellement utilisables pour l'étude géologique indiquant la profondeur totale forée.....	20
Illustration 11 : Exemple de carte d'erreur de krigeage (en mètres) réalisée à partir des LGV et des forages BSS possédant une description géologique fiable (toit des formations marneuses du Rupélien) .....	21
Illustration 12 : Localisation des lignes sismiques françaises disponibles et des lignes retraitées et interprétées pour le projet GEORG .....	22
Illustration 13 : Représentation cartographique des failles référencées dans et autour de la zone d'étude.....	23
Illustration 14 : Localisation des blocs structuraux définis dans le projet GEORG (avec localisation des différentes failles issues des 3 bases de données consultées).....	24
Illustration 15 : Proposition de deux schémas structuraux sur la zone de Saint-Louis-Bâle (Gabalda, et al., 2013) .....	25
Illustration 16 : Cartes isohypses de la base du Plio-Quaternaire (Plio-Pléistocène), de la base des formations de l'Oligo-Miocène (Molasses d'Alsace, etc ...), de la base du Tertiaire et du toit de la Grande Oolithe (Jurassique) avec localisation des failles - les profondeurs des isohypses sont données en m NGF .....	27
Illustration 17 : Exemples de cartes d'épaisseur, au format "adf" (grilles du modèle GOCAD), du Plio-Pléistocène (Plio-Quaternaire) et du Tertiaire (Cénozoïque), avec superposition des failles (traits noirs).....	28
Illustration 18 : Coupe NW-SE réalisée sur le site internet de GEORG au niveau de la zone d'étude.....	29

Illustration 19 : Coupe Ouest-Est réalisée au niveau de la ville de Bâle et du site d'Otterbach. Le substrat géophysique ("geophysical bedrock") est surligné en rouge. Michel et al., 2017 (modifié d'après Häring, 2006). .....	29
Illustration 20 : Sismicité instrumentale et historique de la France. En jaune, le catalogue FCAT-17 complété avec les données Renass (la taille des cercles dépend de la magnitude Mw). En orange, les séismes de la base de données SisFrance. La taille des cercles correspond à la magnitude Mw (jaune) et l'intensité macrosismiques (MSK et EMS 98) (orange). En trait discontinu rouge, les failles potentiellement actives reportés de la base de données BDFA... 31	31
Illustration 21 : Compilation des mesures géophysiques MASW (losange) et H/V (points) disponibles sur la zone d'étude .....	32
Illustration 22 : Cartographie des effets de site lithologiques utilisée dans le cadre de l'étude CCR pour l'Alsace (l'échelle de couleur indique le coefficient d'amplification basé sur les spectres EC8 de la réglementation parasismique française en vigueur) .....	34
Illustration 23 : Résultats des accélérations du sol dans le cadre de l'étude CCR pour l'Alsace	34
Illustration 24 : Exemple de résultat de scénario de pourcentage de dommage D4 et D5 pour le bâti courant lié à une accélération produite par un séisme (étoile jaune) de magnitude 5.8 au Nord de l'agglomération de Saint-Louis .....	35



# 1. Contexte et objectifs de l'étude

## 1.1 OBJECTIFS

L'objectif de la présente étude est d'appuyer la DDT du Haut-Rhin pour réaliser un état des lieux des données et études existantes concernant le risque sismique sur l'agglomération de Saint-Louis, afin de proposer, pour une phase ultérieure, une étude technique d'estimation du risque sismique, qui soit en adéquation à la fois avec les besoins exprimés par la DDT et les données scientifiques disponibles.

Afin de synthétiser l'ensemble des données disponibles, un grand nombre d'acteurs locaux ont été contactés, afin de récupérer les informations, qui pourraient être intégrées à l'étude. Les interlocuteurs suivants ont ainsi été contactés :

- Bureaux d'études ;
- Administrations suisses et allemandes ;
- Universités (Strasbourg, Bâle...)
- Industriels (EDF...)
- Opérateurs privés (Autoroutes, VNF, SNCF).

L'ensemble des données a été regroupé dans un logiciel SIG<sup>1</sup>.

## 1.2 CONTEXTE

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un nouveau zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante : Saint-Louis Agglomération se trouve en zone 4 (moyenne), soit le niveau le plus élevé de la région Grand Est et de la France Métropolitaine.

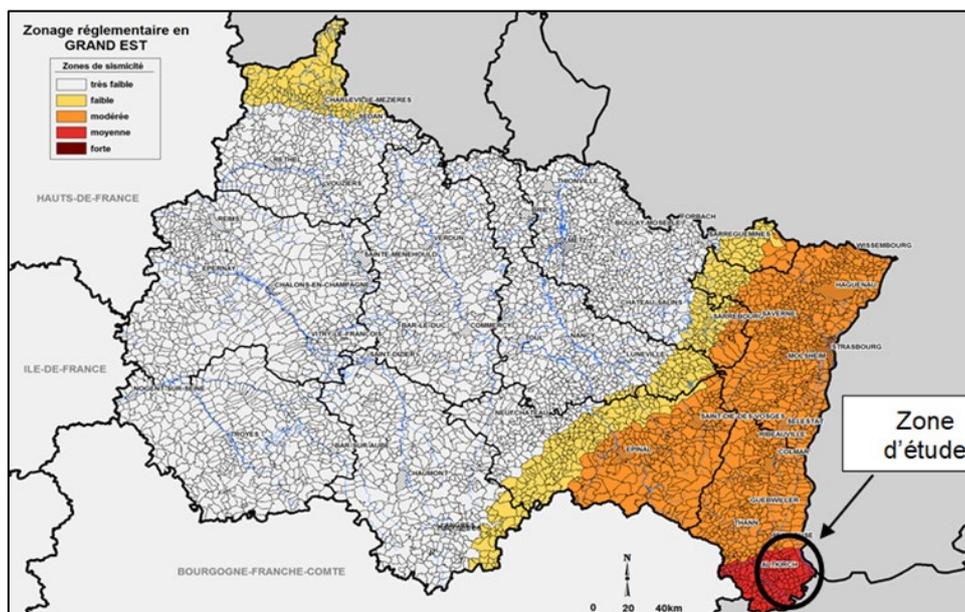


Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude

<sup>1</sup> SIG : Système d'Information Géographique

Ayant une population supérieure à 50 000 habitants, elle fait partie des secteurs prioritaires nécessitant une amélioration de la connaissance de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque sismiques. Sur ce territoire se trouve l'aéroport de Bâle-Mulhouse, ainsi qu'un projet nommé Euro3lys de 5 parcs d'activités sur une superficie de 100 hectares, à la lisière de trois frontières, la France, la Suisse et l'Allemagne.

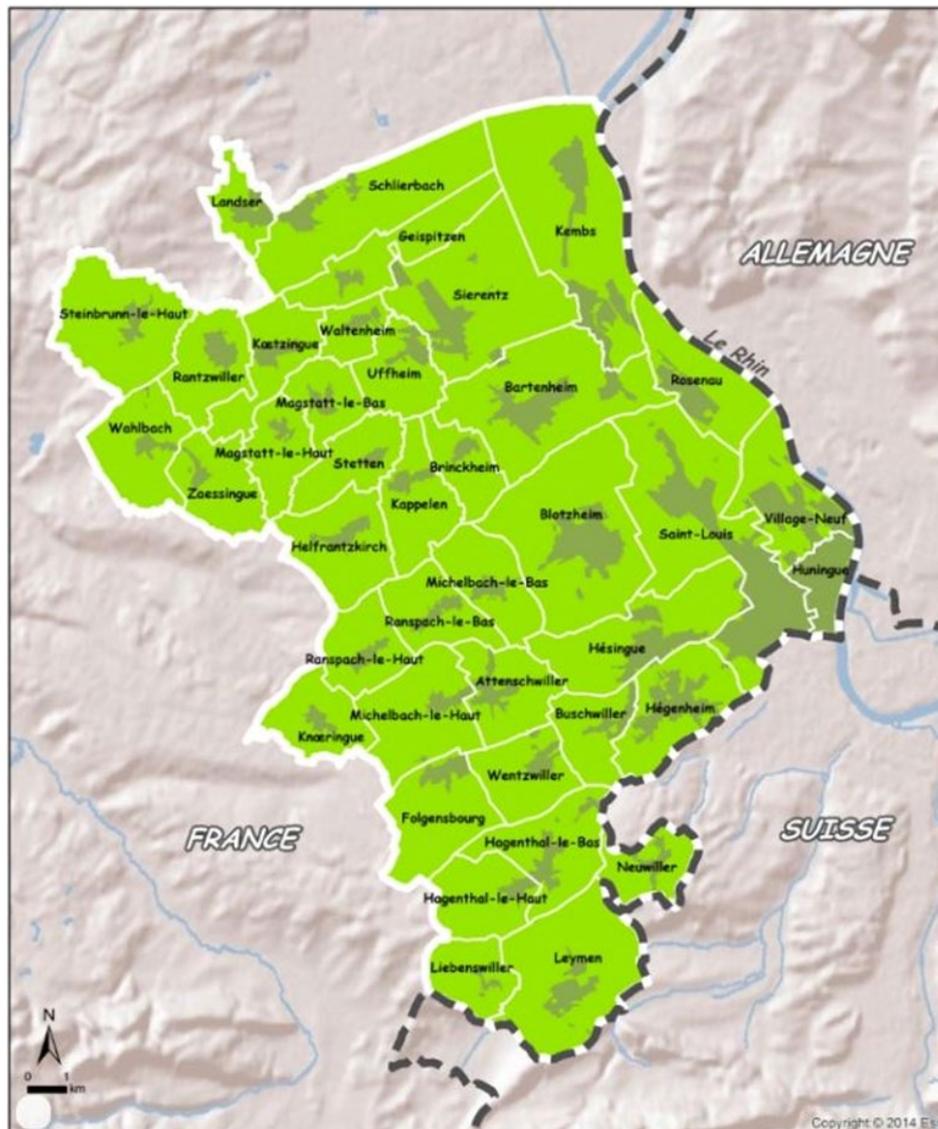


Illustration 2 : Emprise de la zone d'étude – carte des communes de Saint-Louis Agglomération (<https://www.agglo-saint-louis.fr>)

Des études d'aléa ou de risque sismiques ont déjà été menées sur la région, notamment un microzonage de la région sud du Rhin Supérieur (Roullé, Bitri, Mathieu, & Richalet, 2007), exercice Richter 68 mené en 2009, partenariat BRGM-CCR (Rey, Hoste Colomer, Imtiaz, & Monfort Climent, 2020) avec réalisation de scénarii sismiques de dommages sur l'ensemble de la France métropolitaine.

Plus localement, une étude antérieure de pré-diagnostic de microzonage sismique de la ville de Saint-Louis a été réalisée par le BRGM en 2009 (Rey, Auclair, Bes de Berc, Negulescu, & Vandromme, 2009). L'ensemble de ces travaux constitue une base de connaissances importantes sur la zone d'étude.

## 2. Synthèse des données récoltées

### 2.1 DONNEES GEOLOGIQUES

#### 2.1.1 Origine et types de données

Les données qui sont présentées ici sont issues de plusieurs bases de données, projets publics ou sites internet :

- La Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM : cette base référence les données de forages déclarées à l'administration française par les différents opérateurs ou maîtres d'œuvre. Les documents sont bancarisés sous forme de scans au format image (TIFF, PDF, etc... - Illustration 3).

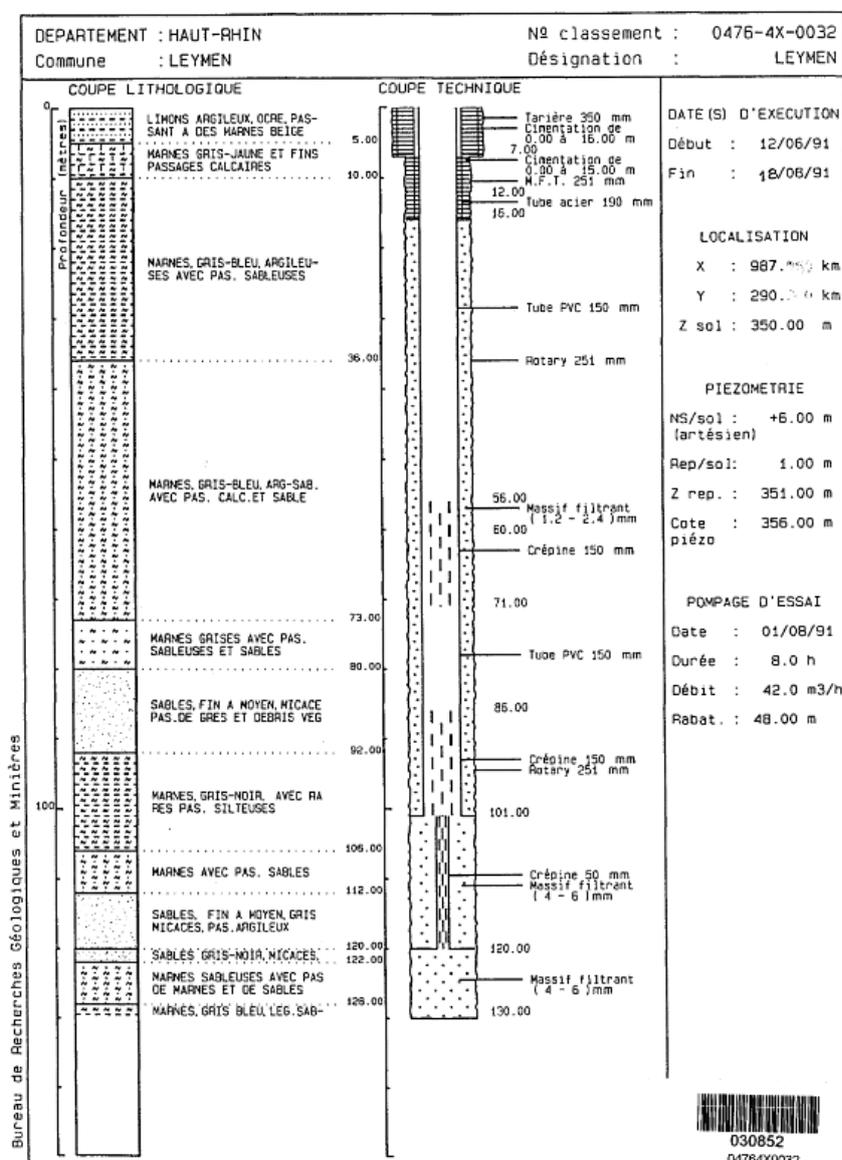


Illustration 3 : Exemple de log de forage disponible en BSS (forage 04764X0032)

- La base de données LOGISO (LOg ISOvaleurs) du BRGM : elle contient les données valorisées de la BSS. Les informations géologiques sur papier (log, description, ...) sont converties au format numérique sous la forme d'un log géologique présentant, selon la précision du document initial, les niveaux lithologiques décrits, leur profondeur (par rapport au sol et altitudes NGF), et les noms de formations géologiques et âges associés. L'extraction s'effectue sous forme de fichiers Excel. Ces logs dits "validés" (ou LGV) sont consultables sur le site INFOTERRE du BRGM (Illustration 4).

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
0.50	Sol (terre végétale)		Terre végétale.	Holocène	416.50
2.50	Loess		Loess/lehm beige clair à beige foncé.	Quaternaire	414.50
8.50	Cailloutis pliocène du Sundgau (vogien+alpin)		Alluvions sablo-graveleuses très argileuses, avec galets (jusqu'à 15cm) généralement gris brunâtre, parfois altérés.	Pliocène	408.50
9.10	Altérites indifférenciées		Sable moyen argileux brun roux.	Néogène	407.90
10.10			Sable fin à moyen très argileux beige.		406.90
11.20			Argile beige plastique. Niveau d'altération ?		405.80
12.10			Argile gris jaunâtre, plastique à compacte vers le bas.		404.90
23.60					393.40
23.70	Série grise de Pechelbronn : Schistes à Mélettes et Marnes à Cyrènes indivises		Marne gris bleuté plus ou moins litée, micacée, peu compacte à compacte vers le bas, parfois à fins lits silteux. Passée marno-calcaire de 23,6 à 23,7m.	Rupélien	393.30
101.00					316.00

Illustration 4 : Log validé du forage 04457X0060 (commune de Ranspach-le-Haut ; centre-ouest de la zone d'étude)

- La banque de données BRAR (Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan) : cette base de données, hébergée par le BRGM, permet de consulter les données liées à l'aquifère du Rhin, mais qui ne sont potentiellement pas prises en compte dans la banque du sous-sol. Les travaux utiles au projet sont notamment la cartographie des formations superficielles réalisée à l'échelle du 1/25 000 sur la plaine alluviale du Rhin. Les données de forage (coupes géologiques disponibles) ont fait l'objet d'une vérification et sont bien, actuellement, bancarisées en BSS. Les données sont consultables sur le site internet dédié (<https://sigesar.brgm.fr/-Banque-de-donnees-BRAR>).
- La base de données MINERGIES : hébergée par le BRGM, cette base bancarise les données de forages profonds et les lignes sismiques, qui ont été acquises par les opérateurs (TOTAL, GDF, ESSO, etc...) dans le cadre de campagnes de recherche d'hydrocarbures, de géothermie HT (Haute Température) et de stockage souterrain. Les données sont consultables et peuvent être commandées sur le site internet dédié : (<http://www.minergies.fr>).

- Les projets réalisés sur le fossé rhénan :
  - o Projet GEORG (2013): ce projet, initié dans le cadre du projet européen "INTERREG IV Rhin Supérieur" entre 2009 et 2012-2013, avait pour objectif d'explorer le potentiel géologique et hydrothermal profond de tout le Fossé rhénan. Ce projet a fait intervenir la France (BRGM), la Suisse (Université de Bâle) et l'Allemagne (services géologiques des Lands de Baden-Württemberg et de Rhénanie-Palatinat) et a été finalisé fin 2013. La combinaison de nombreuses données (forages, lignes sismiques, données structurales, etc...) a permis de réaliser un modèle géologique global du bassin et des cartes d'isobathes (profondeur) des toits (sommets) ou murs (bases) des principales formations géologiques, ainsi que des cartes d'épaisseurs ou des cartes structurales. Ces données ont pu être récupérées sous forme de fichiers shapefile et de grilles GOCAD (logiciel de modélisation). Un site internet publique dédié permet d'obtenir des informations sur le projet (<https://www.geopotenziale.org>) et de consulter les données sous forme cartographique (<http://maps.geopotenziale.eu>).
  - o Démonstrateur RGF (Référentiel Géologique de la France) Vosges - Fossé rhénan (2014): ce projet interne au BRGM avait pour objectif de développer une méthodologie de bancarisation, mise en cohérence et valorisation de la donnée sur une grande partie du Fossé rhénan, dont la zone d'étude. Ce projet a permis de valider des forages au format LOGISO (LGV) et de mettre à jour la carte géologique harmonisée régionale en intégrant notamment la carte géologique à l'échelle du 1/25 000 de la BRAR. Les forages et cette carte géologique ont été récupérés sous forme de fichiers shapefile. Les informations sur ce projet sont consultables sur le site internet INFOTERRE du BRGM (<https://rgf.brgm.fr/page/vosges-fosse-rhenan-pilote-rgf>).
- Pour les données disponibles hors de France (Allemagne et Suisse): consultation de plusieurs sites internet (services géologiques nationaux et régionaux) et échanges avec les responsables du projet GEORG, côté Allemand et Suisse. Les données présentées dans ce rapport sont les données publiques visualisables sur les sites internet.

#### 2.1.2 Rappel sur les formations géologiques de la zone d'étude

Certaines données géologiques présentées dans les paragraphes suivants font mention de formations ou ensembles géologiques qui sont présentés brièvement dans ce paragraphe.

La zone d'étude se situe sur la bordure sud du Fossé rhénan, fossé d'effondrement à composante décrochante senestre ayant fonctionné durant une partie du Cénozoïque (Tertiaire) et probablement de l'Eocène moyen à l'Oligocène (Bartonien à -40 Ma jusqu'au Rupélien à -28 Ma). Etant situées sur la bordure du fossé, des failles anciennes ont été réactivées ou créées, ce qui a engendré des effondrements de blocs structuraux et affecté le remplissage sédimentaire cénozoïque.

L'illustration 5 présente un schéma synthétique de la pile sédimentaire et des principaux événements géodynamiques qui ont affecté la partie sud du Fossé rhénan (diagramme chronostratigraphique ou diagramme de Wheeler). Les principales formations géologiques rencontrées dans cette partie du fossé, et donc dans la zone d'étude, sont précisées sur la partie droite du schéma (aucune information sur leur épaisseur).

Cette illustration montre que les formations sédimentaires qui se succèdent sont détritiques dans la partie supérieure (Pliocène à Actuel : alluvions, loess, colluvions et Cailloutis du Sundgau ; Chattien : Molasses d'Alsace), puis majoritairement marneuses, avec quelques intercalations calcaires ou sableuses, pour les formations du Cénozoïque (Eocène et Oligocène).

Ces formations reposent en discordance sur le Jurassique, constitué quant à lui par des formations calcaires, marno-calcaires et marneuses. L'érosion du toit du Jurassique fait que l'on peut retrouver, sous le Cénozoïque, des formations du Jurassique supérieur (Oxfordien : Marnes de Besançon, Calcaires de Besançon, etc...) ou du Jurassique moyen (Bajocien : Grande Oolithe).

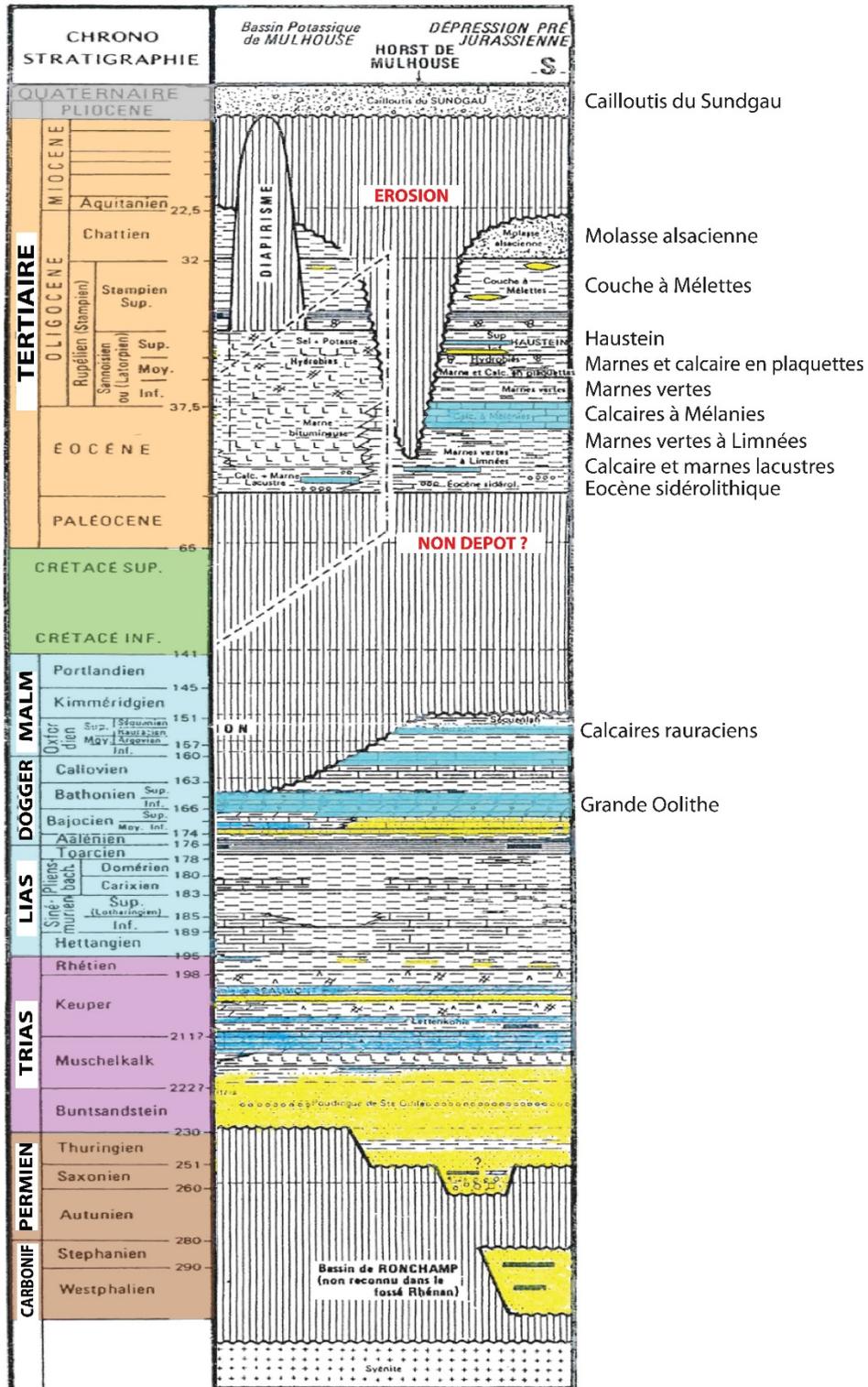


Illustration 5 : Diagramme de Wheeler de la partie sud du fossé rhénan présentant les principales formations géologiques et événements (érosion, non dépôt, diapirisme) (Gabalda, et al., 2013)

### 2.1.3 Les cartes géologiques

#### a) Données sur la zone d'étude

La carte géologique numérique harmonisée du BRGM (Illustration 6), réalisée à l'échelle du 1/50 000, est utilisable dans le cadre du projet. Cette carte vectorielle, au format shapefile, intègre notamment les levés réalisés à l'échelle du 1/25 000 des formations superficielles de la vallée du Rhin (Quesnel, Lacquement, Kramers, Greder, & Elsass, 2002).

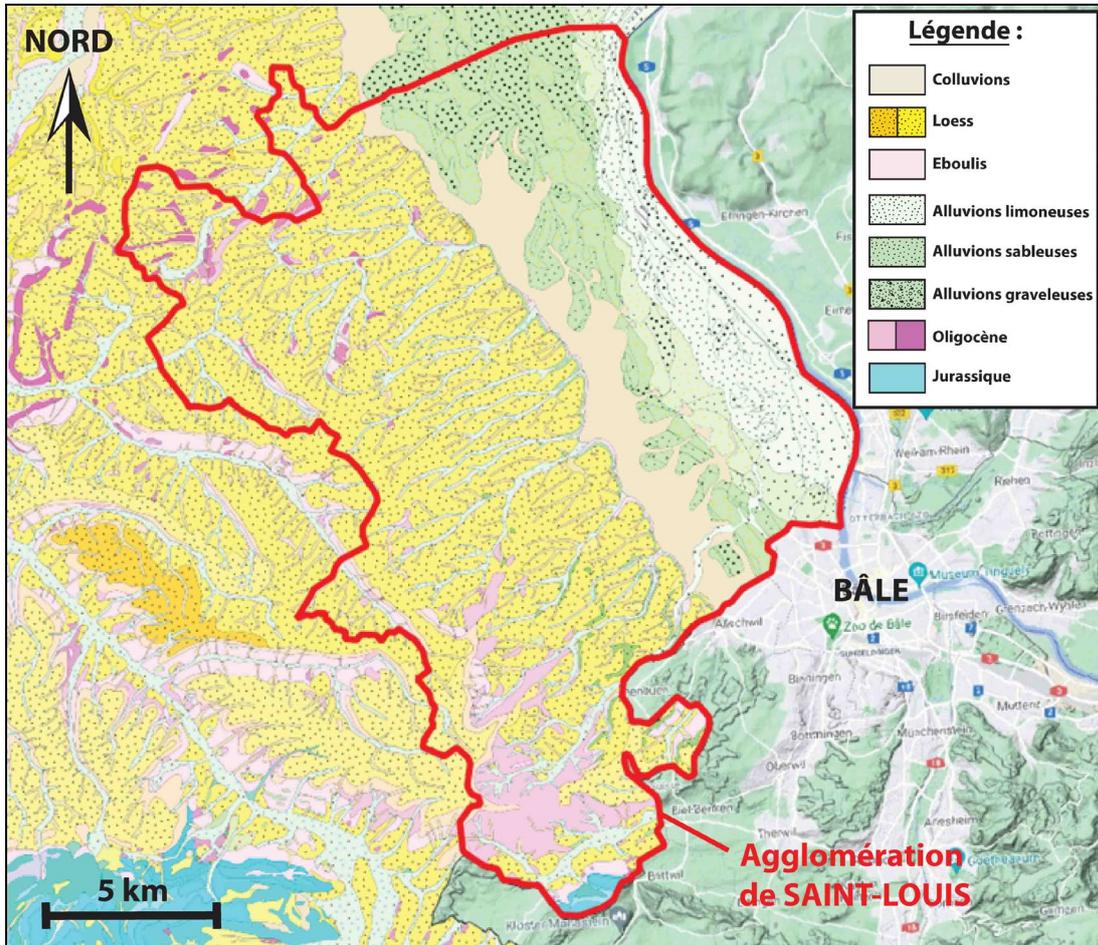


Illustration 6 : Zone d'étude replacée sur la carte géologique harmonisée du BRGM à l'échelle du 1/50 000

Les données de la carte montrent que l'agglomération de Saint-Louis est située :

- A l'Ouest, au centre et au Sud (reliefs de 350 à 400 m d'altitude) : sur des formations majoritairement marneuses du Paléogène-Néogène (Oligocène à Miocène ; en violet-rose sur l'illustration 6) recouvertes par des formations loessiques d'âge quaternaire (Pléistocène ; en jaune sur l'illustration 6).
- Au Nord, au Nord-Est et à l'Est (vallée du Rhin : 230 à 300 m) : sur des formations colluvionnées en bas de pente (en beige sur l'illustration 6) et des formations alluvionnaires graveleuses, sableuses ou limoneuses, d'âge quaternaire (Pléistocène à Holocène ; couleurs vertes sur l'illustration 6).
- Au Sud (village de Leymen ; relief de 500 m d'altitude) : sur des formations calcaires et marneuses du Jurassique moyen (Bajocien-Bathonien) et supérieur (Oxfordien-Kimméridgien).

**b) Données hors de France**

Dans l'éventualité où des données situées côté Allemand et/ou Suisse seraient nécessaires (réalisation d'un modèle géologique plus général, informations supplémentaires ponctuelles au niveau des zones frontalières, ...) et en fonction du scénario de risque choisi, une recherche de cartes géologiques a été effectuée. Cette recherche s'est appuyée sur la consultation de plusieurs sites internet (services géologiques nationaux et régionaux) : le site internet du BGR pour l'Allemagne ([Infogeo - Serveur de cartes / Services Web](#)) et le site de la Confédération Helvétique ([Cartes de la Suisse - Confédération suisse - map.geo.admin.ch](#)). Dans le cas où une commande sera nécessaire, les demandes sont à formuler auprès de certains services (Suisse : [geodata@swisstopo.ch](mailto:geodata@swisstopo.ch)) ou régions (Allemagne : [abteilung9@rpf.bwl.de](mailto:abteilung9@rpf.bwl.de)).

Pour illustrer la géologie qui borde la zone d'étude (hors de France), une concaténation des cartes géologiques allemandes et suisses, consultables sur les sites internet, est présentée sur l'illustration 7.

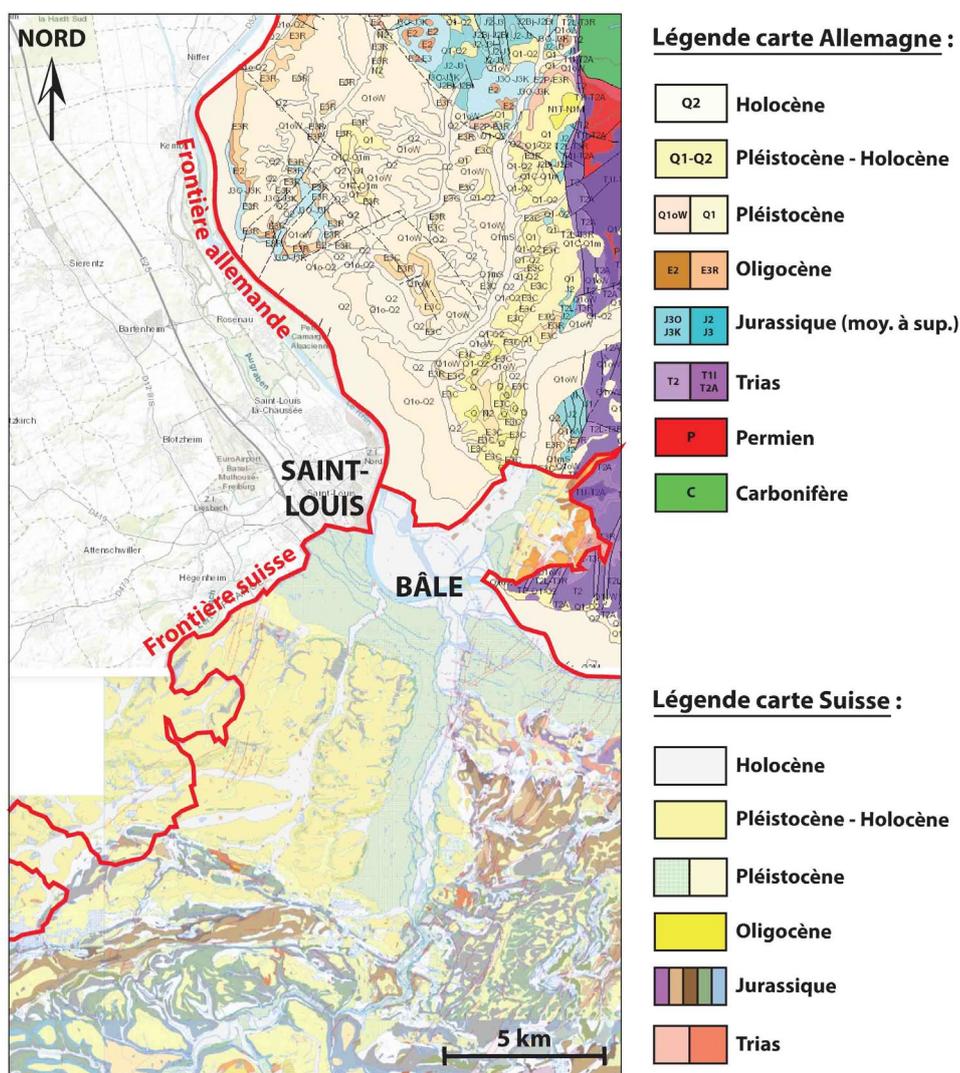


Illustration 7 : Cartes géologiques numériques allemande (carte de l'Allemagne à l'échelle du 1/1 000 000) et suisse (cartes de Basel et Arlesheim à l'échelle du 1/25 000) disponibles, replacées au niveau de la zone d'étude

## 2.1.4 Les données de forages

### a) Analyse statistique

L'extraction des données de forages de la BSS indique que 1 267 forages sont référencés sur l'agglomération de Saint-Louis, mais que seuls 33 d'entre eux ont été valorisés sous forme de logs numériques (LGV).

L'illustration 8 présente la carte de densité de l'information géologique disponible actuellement au format numérique (LGV : points bleus). Cette carte de densité, réalisée avec le logiciel BRGM "GDM-Multilayer", repose sur la méthode de krigeage d'indicatrice, qui est une forme d'interpolation géostatistique. Un indice de présence a été associé à chaque forage, ce qui a permis d'interpoler ce paramètre sur une grille finale de 150 m x 150 m (choisie de façon arbitraire). Le résultat final est donc une représentation continue de l'estimation de la densité des forages.

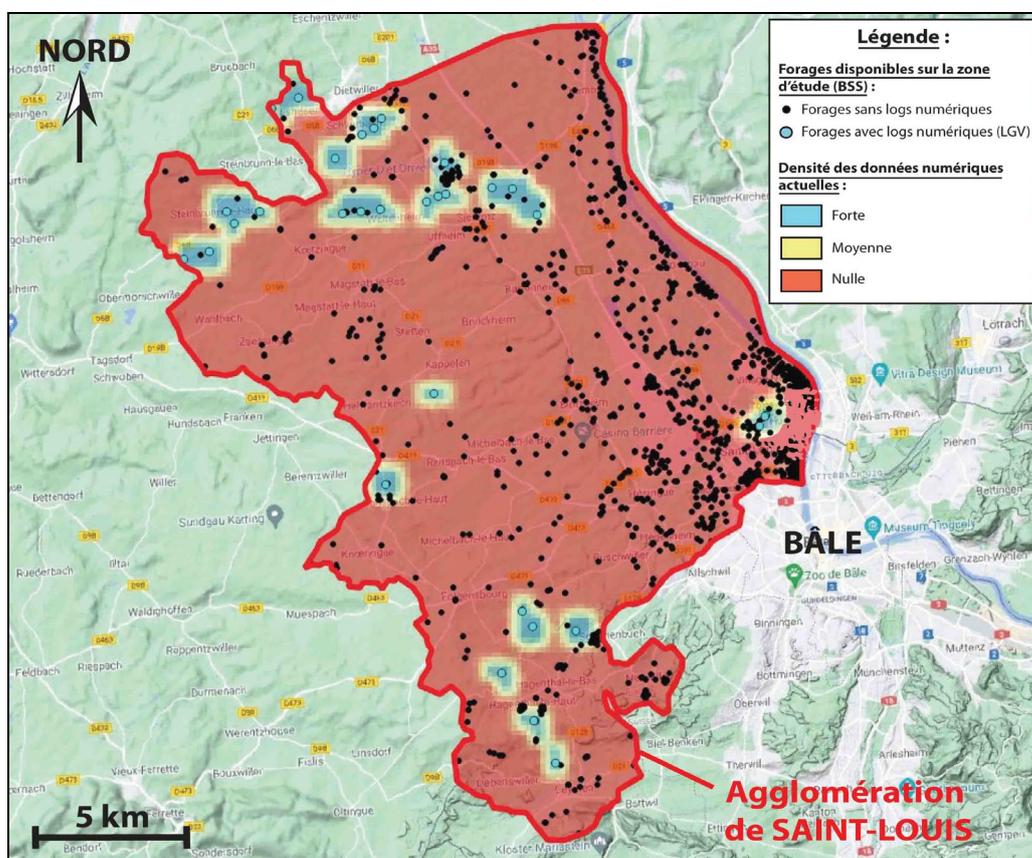


Illustration 8 : Carte de densité des forages numériques disponibles actuellement (LGV) calculée sur la zone d'étude

Etant donné que les LGV sont peu nombreux sur l'agglomération de Saint-Louis, un inventaire des forages de la BSS pouvant être potentiellement convertis en LGV a été réalisé. La sélection de ces forages a été effectuée sur le critère de la qualité de la description géologique disponible (documents bancarisés en BSS). Les résultats montrent qu'environ 170 forages pourraient être saisis en LGV, dont :

- 131 forages possédant une description géologique correcte, c'est-à-dire relativement bien détaillée et précise. La majorité de ces forages fait entre 5 et 50 m de profondeur (50 de

moins de 20 m et 65 entre 20 et 50 m) et une quinzaine font plus de 50 m (7 entre 80 et 100 m, 7 entre 130 et 200 m, 1 de plus de 1000 m).

- 38 forages possédant une description géologique très générale, mais permettant de repérer potentiellement les toits et les murs des principales formations géologiques. Les profondeurs sont également variables : 16 forages entre 10 et 30 m ; 2 forages de 60 m ; 17 forages entre 75 et 100 m ; 2 forages de 150 m et 1 forage de 320 m.

**Remarque :** les forages dont la description géologique est très imprécise ou dont l'origine ne peut être vérifiée (pas de document scanné en BSS, simple tableau avec informations floues) n'ont pas été sélectionnés ici (environ 130 forages).

Au total, ce sont environ 200 forages qui pourraient être utilisés pour l'étude géologique. L'illustration 9 présente la carte de densité de l'information géologique si les forages de la BSS dont l'information géologique est correcte sont saisis et interprétés pour passer au format LGV.

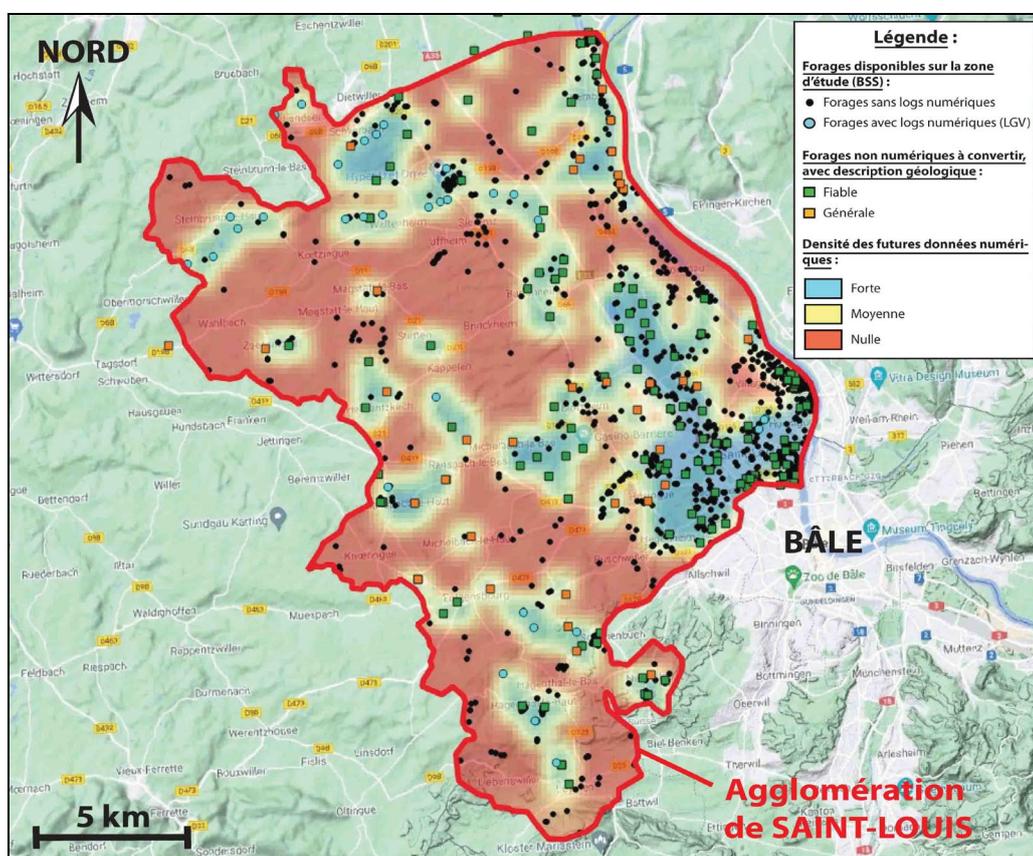


Illustration 9 : Carte de densité des forages numériques (LGV) et des forages de la BSS potentiellement utilisables, calculée sur la zone d'étude

### b) Problématiques

L'inventaire des données de forages a permis de souligner deux problématiques principales :

- **La profondeur des forages :** pour les zones où des forages sont présents, l'information géologique ne pourra être renseignée que sur une profondeur restreinte : par exemple, les forages situés dans la vallée du Rhin (au Nord et à L'Est) montrent des profondeurs

allant de 10 à 30 m (forages à objectif hydrogéologique principalement ; voir valeurs sur l'illustration 10). A l'Ouest, au centre et au Sud, certains forages sont plus profonds, avec des valeurs moyennes comprises entre 50 et 100 m (quelques forages font plus de 100 m). Seuls 3 forages pétroliers, d'environ 1000 m de profondeur, sont présents sur la zone d'étude (1 au Nord et 2 au Sud). Remarque : les forages utilisés dans le projet européen GEORG sont présentés en violet sur l'illustration 10.

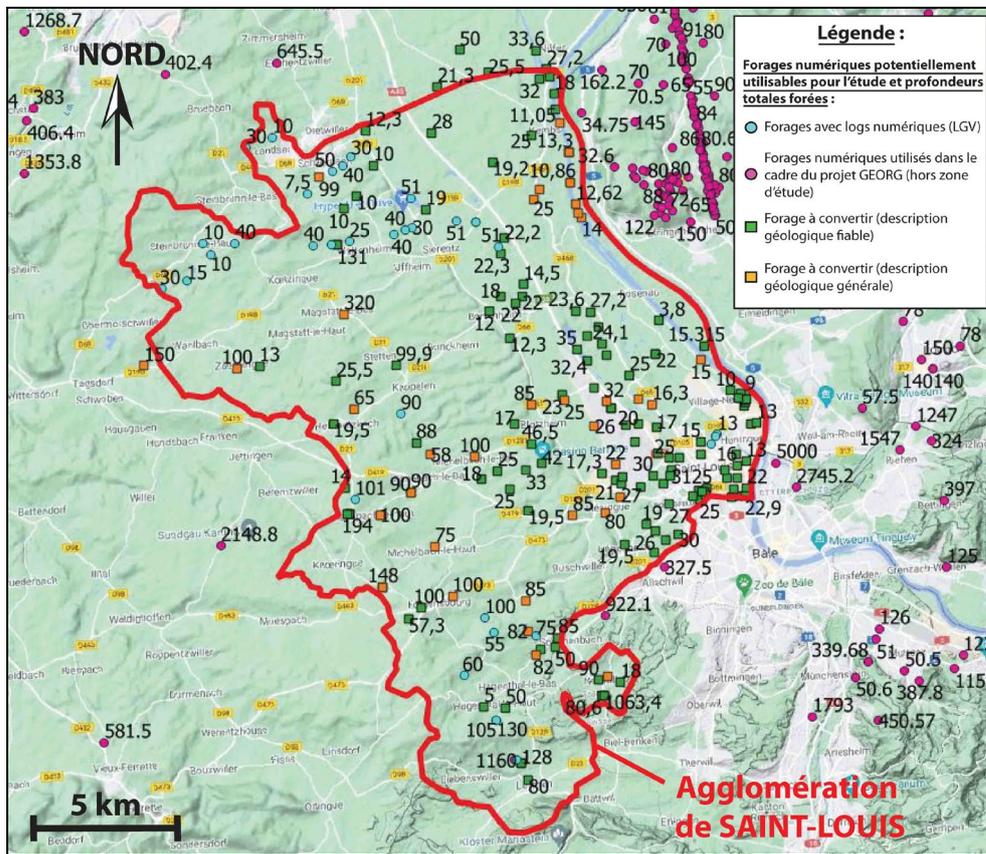


Illustration 10 : Carte des forages potentiellement utilisables pour l'étude géologique indiquant la profondeur totale forée

- **La répartition des forages** : certaines zones ne possèdent pas de données de forages avec une information géologique fiable. De ce fait, la cartographie de l'information géologique (géométrie du toit, de la base ou épaisseur) pourrait comporter des erreurs d'interpolation relativement élevées. La carte ci-dessous est un exemple de carte de l'erreur de krigeage (approximation de l'incertitude) issue du calcul du toit des formations marneuses du Rupélien (un travail de repérage de cette surface a été réalisé sur les documents scannés de la BSS). Cette carte a été réalisée à partir des LGV et des forages BSS possédant une description géologique fiable.

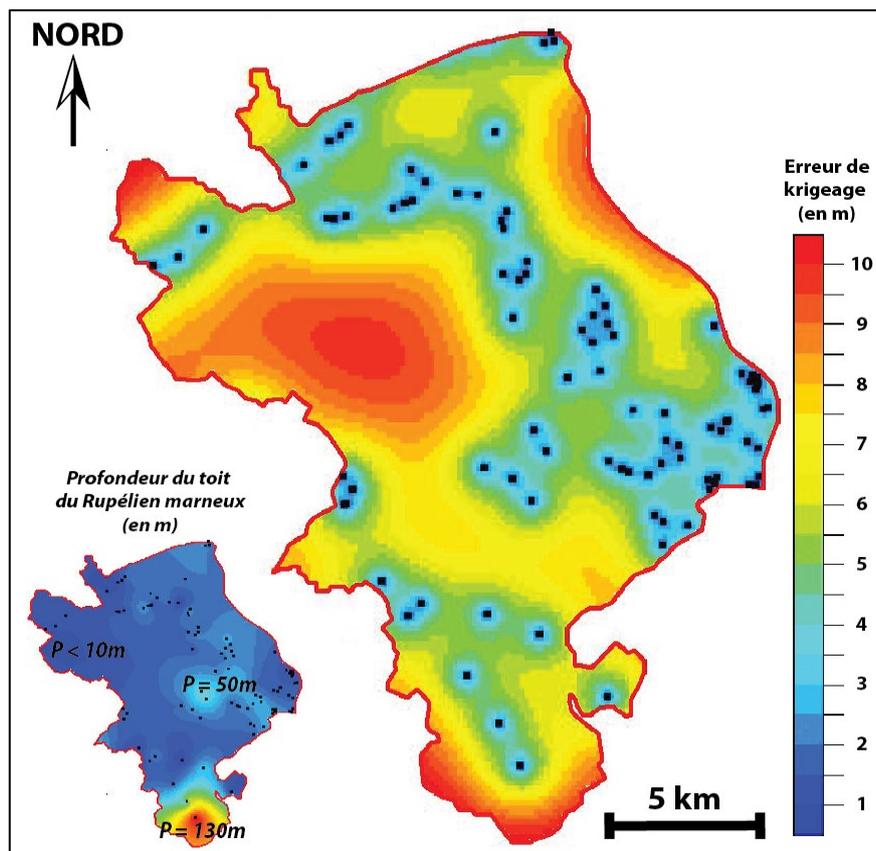


Illustration 11 : Exemple de carte d'erreur de krigeage (en mètres) réalisée à partir des LGV et des forages BSS possédant une description géologique fiable (toit des formations marneuses du Rupélien)

### c) Données hors de France

De la même manière que pour les cartes géologiques, une recherche sur les données de forages allemands et suisses a été effectuée dans l'éventualité où des données situées en dehors de la zone d'étude seraient nécessaires (réalisation d'un modèle géologique plus général, informations supplémentaires ponctuelles au niveau des zones frontalières, ...). Au niveau local, des contacts ont été pris avec les responsables des données du projet interfrontalier GEORG pour vérifier s'il était possible de récupérer des données de forages complémentaires côté Allemand et Suisse.

Pour le cas des forages suisses : leur accès est très réglementé. Pour certains d'entre eux, il est possible de consulter gratuitement les descriptions géologiques disponibles sur les sites internet des cantons (recherche à effectuer forage par forage). Pour d'autres, il est nécessaire d'obtenir un accord des propriétaires ou des cantons. L'Université de Bâle, qui ne fait que gérer la base de données au nom des cantons, doit effectuer une demande auprès de chaque opérateur pour obtenir un accord de diffusion des données de forages (fichiers "shapefile" ou autres) que le client souhaite acquérir. Pour l'exemple du Canton de Bâle, il est possible de visualiser la carte de localisation des forages sur le site [MapBS - Canton de Bâle-Ville](#).

Pour le cas des forages allemands : pour effectuer une commande spécifique (récupération des documents publics de forages par exemple), il est nécessaire d'effectuer une demande au service géologique de chaque état fédéral (dans notre cas d'étude, le Land de Baden-Württemberg) : [Infogeo - Contacter](#). Il est possible de visualiser la carte des forages allemands

sur le site internet du service géologique allemand (BGR) en effectuant une recherche des forages par état fédéral : <https://boreholemap.bgr.de/mapapps/resources/apps/boreholemap>.

### 2.1.5 Les données sismiques

Le Fossé rhénan ayant fait l'objet de nombreuses études en recherche pétrolière, des profils sismiques, permettant d'imager la géométrie des couches géologiques profondes, ont été réalisés au cours du 20<sup>ème</sup> siècle.

La consultation de la base de données pétrolières MINERGIES, gérée par le BRGM, montre qu'une dizaine de lignes passent au niveau de la zone d'étude (lignes noires sur l'illustration 12). Certaines d'entre elles ont notamment été retraitées et interprétées dans le cadre du projet GEORG (lignes violettes sur l'illustration 12), afin de réaliser le modèle géologique 3D et les cartes d'isohypses de certaines formations géologiques.

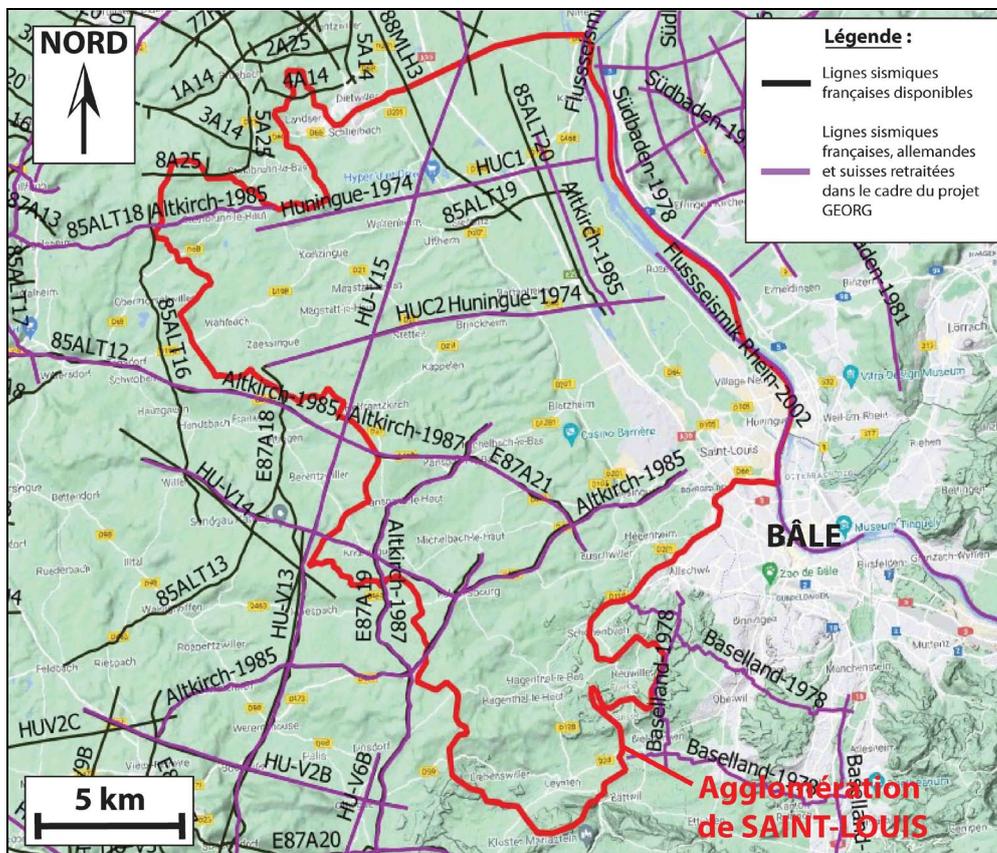


Illustration 12 : Localisation des lignes sismiques françaises disponibles et des lignes retraitées et interprétées pour le projet GEORG

### 2.1.6 Les données structurales

Les données structurales recueillies, au format shapefile, montrent que la zone d'étude se situe dans une zone très structurée par des failles dont l'orientation est très variable. Ces données sont issues de trois sources différentes :

- Le projet GEORG : l'interprétation des profils sismiques 2D, présentés dans le paragraphe précédent, associée aux informations tirées des forages profonds, a permis de proposer un schéma structural régional (failles en pointillés rouges sur l'illustration 13). Leur orientation est variable : N20°, N35-N50°, N90° et N135°.
- La carte géologique régionale harmonisée (échelle du 1/50 000) : dans ce cas, ce sont les failles localisées à l'affleurement qui ont été positionnées (pointillés bleus sur l'illustration 13). Leur orientation est N40° et N135°.
- La Base de Données Failles Actives (BDFA) : cette base est issue des travaux de l'IRSN réalisés en 2017 et considère toutes les failles référencées dans diverses sources : carte géologique de la France à l'échelle du 1/1 000 000, cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000, modèles numériques d'altitude ('Digital Elevation Models' en Anglais : DEMs), photos aériennes, publications, etc. (traits noirs sur l'illustration 13). Au niveau de la zone d'étude, les orientations principales sont N170° et N100°.

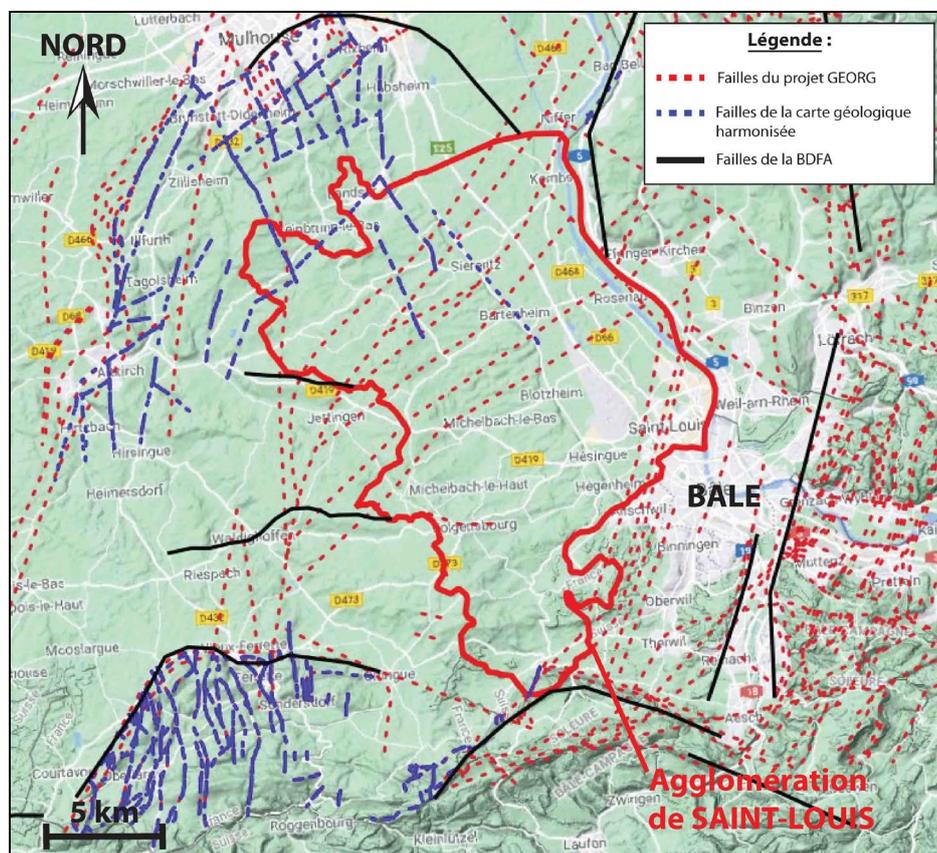


Illustration 13 : Représentation cartographique des failles référencées dans et autour de la zone d'étude

Le pointé des failles réalisé dans le cadre du projet GEORG a également permis de délimiter cartographiquement de grands ensembles ou blocs structuraux (séparés par des failles profondes). L'agglomération de Saint-Louis se situe, d'après ces données, sur 5 blocs majeurs :

- Au Nord : sur les blocs de "Rixheim", d'"Altkirch" et d'"Istein" ;
- Au centre : sur le bloc de "Sierentz – Allschwill" ;
- Au Sud : sur le bloc de "Basel".

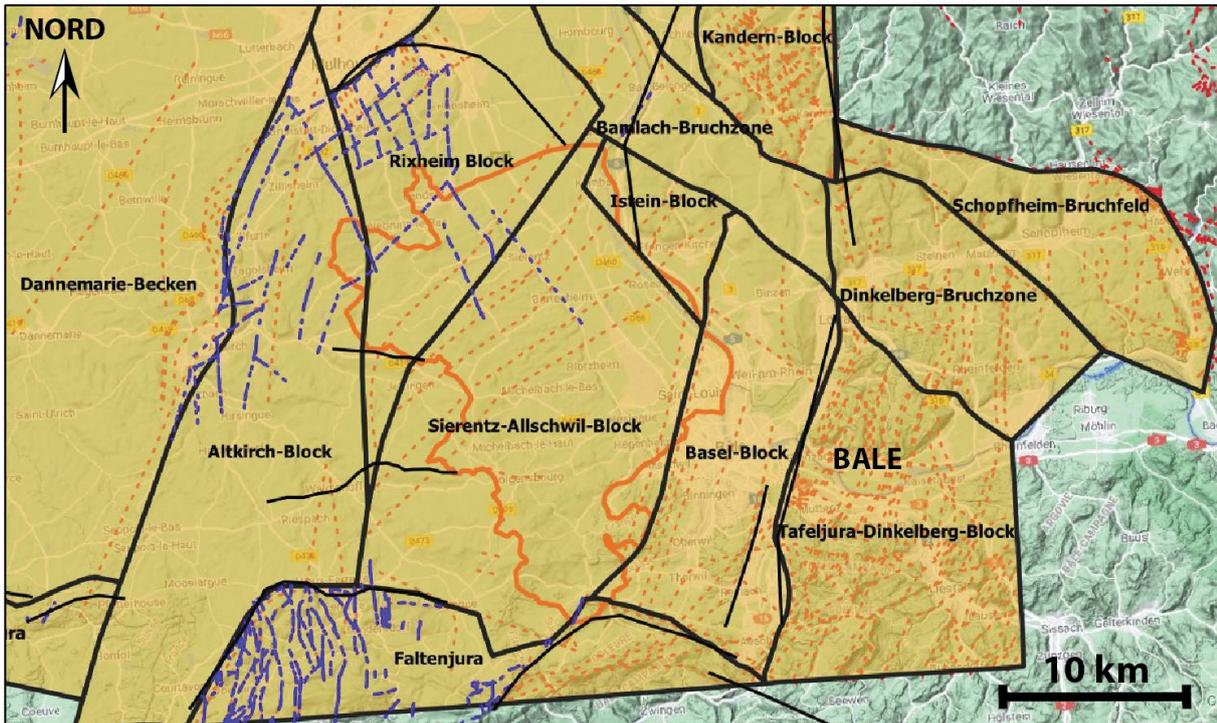


Illustration 14 : Localisation des blocs structuraux définis dans le projet GEORG (avec localisation des différentes failles issues des 3 bases de données consultées)

Il est important de rappeler que le schéma structural proposé dans ce projet est issu d'une interprétation réalisée sur des profils sismiques espacés et sur les forages disponibles mais parfois peu profonds. Pour illustrer la problématique liée à l'interprétation des données, deux schémas structuraux différents ont été proposés sur une zone test, située entre Sierentz et Bâle. L'illustration 15 montre que, pour une même donnée cartographique, plusieurs cas de schémas structuraux profonds peuvent être envisagés.

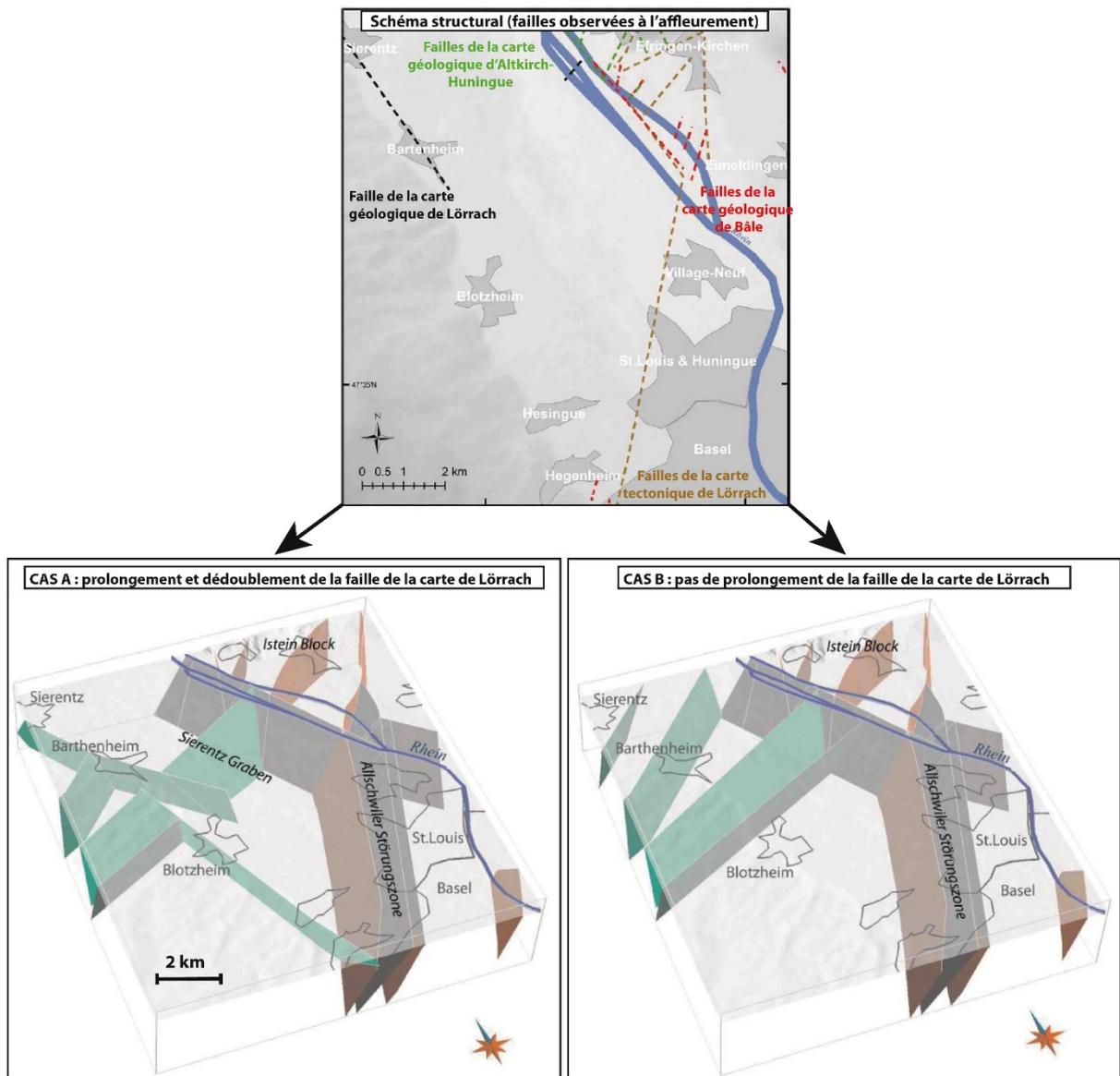


Illustration 15 : Proposition de deux schémas structuraux sur la zone de Saint-Louis-Bâle (Gabalda, et al., 2013)

### 2.1.7 Conclusion sur la qualité des données récoltées

La récupération des données disponibles nécessaires à l'étude géologique a montré que certaines données étaient disponibles et utilisables rapidement et que d'autres devaient être complétées ou utilisées avec précaution :

#### - **Données utilisables :**

- **Les cartes géologiques :** les cartes numériques à l'échelle du 1/50 000 au format numérique sont de bonne qualité et ne présentent pas de contraintes d'utilisation.
- **Les cartes d'isohypses et d'épaisseur du projet GEORG (hors Plio-Quaternaire) :** les cartes réalisées dans le cadre de ce projet, notamment celles de la base du Cénozoïque et du toit des formations du Jurassique (2 cartes disponibles pour le Jurassique supérieur et le Jurassique moyen), pourraient servir dans la prise en

compte des grands changements de lithologie (rôle sur la réflexion ou la réfraction des ondes sismiques / effets de site).

- **Données à utiliser avec précaution :**

- o Les données structurales : la localisation des failles en carte et en profondeur au niveau de la zone d'étude a été réalisée à diverses échelles. Les failles du projet GeORG sont issues d'une interprétation de bassin (échelle régionale et plus) : leur localisation au niveau de la zone d'étude peut être incomplète (voir cas A et B de l'illustration 15). Les failles localisées sur les cartes géologiques ont été repérées à l'échelle du 1/50 000 et à l'affleurement seulement : des prolongements en profondeur ne sont donc pas à exclure. Enfin, la base de données failles actives (BDFA) est issue de diverses sources bibliographiques (carte France à l'échelle du 1/1 000 000, cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000, modèles numériques d'altitude, photos aériennes ou publications).
- o Les cartes d'isohypses et d'épaisseur du Plio-Quaternaire du projet GeORG : ces cartes, réalisées à partir des informations des notices des cartes géologiques et des rares LGV disponibles, pourraient être améliorées grâce à la prise en compte des 170 forages BSS (conversion en LGV numériques puis nouveau calcul de la profondeur de la base de la formation).

- **Données à compléter :**

- o Les données de forages : les forages disponibles au format numérique (LGV) sur l'agglomération de Saint-Louis sont peu nombreux. Afin de pouvoir traiter l'information géologique (lithologies notamment) plus rapidement, il sera nécessaire de transformer les 170 forages BSS disposant de descriptions géologiques fiables au format numérique. Une fois cette conversion effectuée, il faut cependant noter que certaines zones resteront sans information. La réalisation de nouveaux forages permettrait d'apporter des informations géologiques dans ces zones vides d'information.

## 2.2 MODELE GEOLOGIQUE DISPONIBLE

Le principal modèle géologique 3D disponible au niveau de la zone d'étude est le modèle qui a été réalisé dans le cadre du projet GEORG. Ce modèle a intégré les données de certains modèles français et étrangers réalisés antérieurement (modèle allemand de Rhénanie-Palatinat de 2010, modèle suisse Muttentz-Pratteln de 2005, modèle de Soultz-Sous-Forêts de 2009, ...), et certains réalisés dans des zones proches de l'agglomération de Saint-Louis, comme :

- Le modèle suisse de Bâle ;
- Le modèle allemand sur le Land de Baden-Württemberg (Beccaletto, et al., 2012).

Ce modèle, réalisé avec le logiciel GOCAD, a permis de générer des cartes d'isohypses (isoprotecteurs des toits ou murs des formations, en m NGF) et d'épaisseurs sur tout le Fossé rhénan, qui sont les seules données récupérables. Les auteurs du modèle ont choisi de limiter la diffusion du modèle complet afin que celui-ci ne soit pas utilisé pour une étude très locale sans avis des auteurs et éviter ainsi les éventuels risques de mauvaise utilisation liée à une résolution inadaptée.

Sur le site internet dédié à la consultation des données et résultats du projet (<http://maps.geopotenziale.eu>), un espace cartographique permet également de réaliser des coupes géologiques dans n'importe quelle zone du bassin.

### 2.2.1 Cartes d'isohypses

Ces cartes de profondeurs ont été générées à partir des interprétations effectuées sur les profils sismiques (pointé des principaux horizons) avec calage lithostratigraphique sur les forages profonds disponibles. Ces cartes ont été récupérées sous forme de fichiers shapefile (fichiers SIG) et "adf" (grilles "Arcinfo Data File").

L'illustration 16 présente des exemples de cartes d'isohypses générées pour différentes formations ou ensembles de formations géologiques. Les profondeurs affichées sont données en côte NGF.

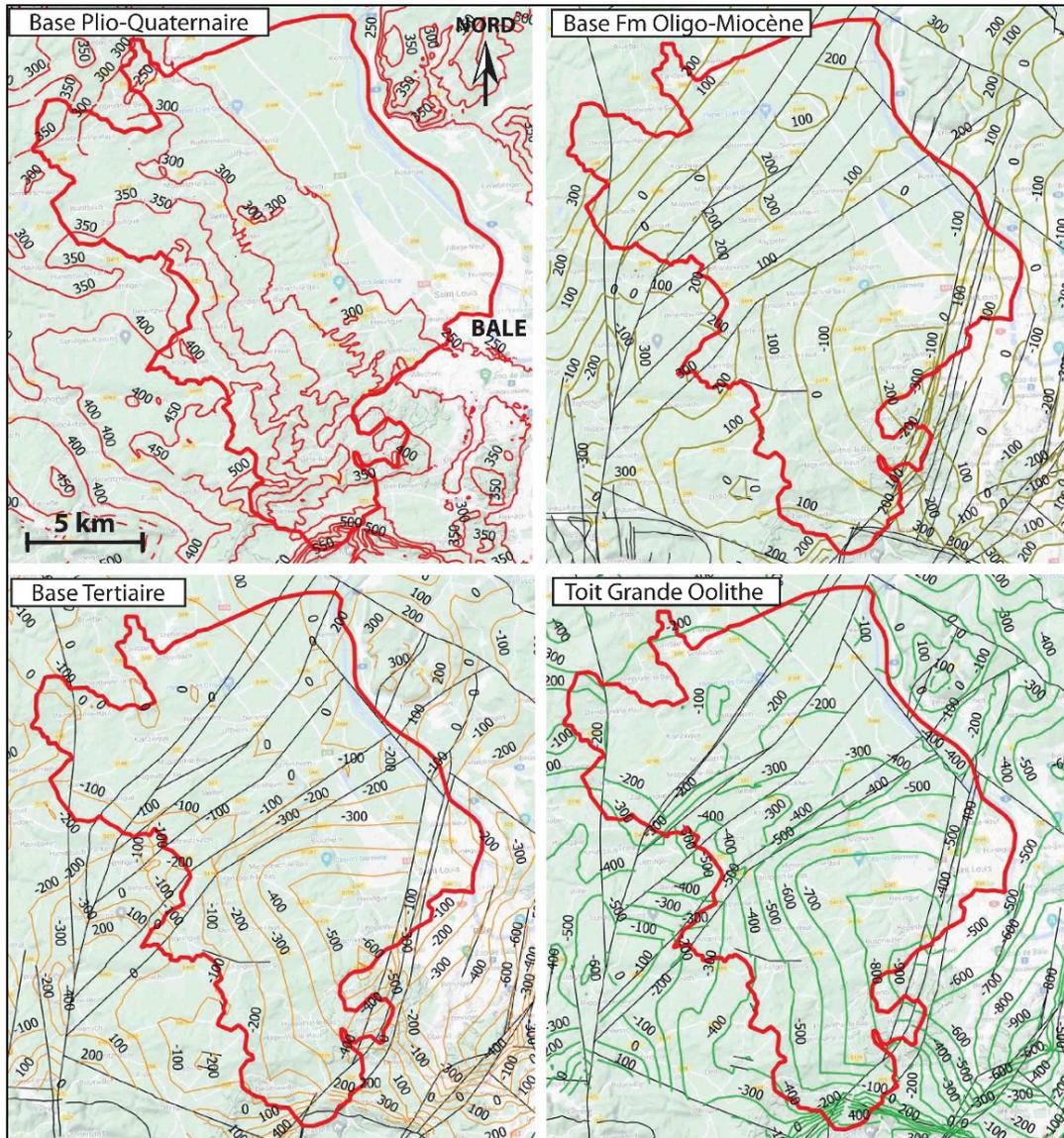


Illustration 16 : Cartes isohypses de la base du Plio-Quaternaire (Plio-Pléistocène), de la base des formations de l'Oligo-Miocène (Molasses d'Alsace, etc ...), de la base du Tertiaire et du toit de la Grande Oolithe (Jurassique) avec localisation des failles - les profondeurs des isohypses sont données en m NGF

**Remarque :** les isohypses du Plio-Quaternaire sont plus découpées que les autres courbes présentées en raison d'un mode de calcul différent : dans leurs cas, ces courbes ne sont pas

issues du pointé des horizons sismiques (mauvaise résolution des profils sur la première centaine de mètres, voire au-delà), mais ont été calculées en soustrayant à la topographie les épaisseurs données dans les notices des cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000.

### 2.2.2 Cartes d'épaisseur

Des cartes d'épaisseurs de certains ensembles géologiques ont également été générées à partir des données cartographiques, des forages ou du pointé des toits et murs sur les profils sismiques. L'illustration 17 présente deux exemples de cartes d'épaisseur (grilles au format "adf" - ArcInfo Data File), pour :

- Les formations considérées comme "non consolidées" du Plio-Quaternaire (Plio-Pléistocène) : voir "remarque" du paragraphe ci-dessus ;
- Les formations du Tertiaire (Cénozoïque) : carte réalisée à partir du pointé des horizons sur les profils sismiques.

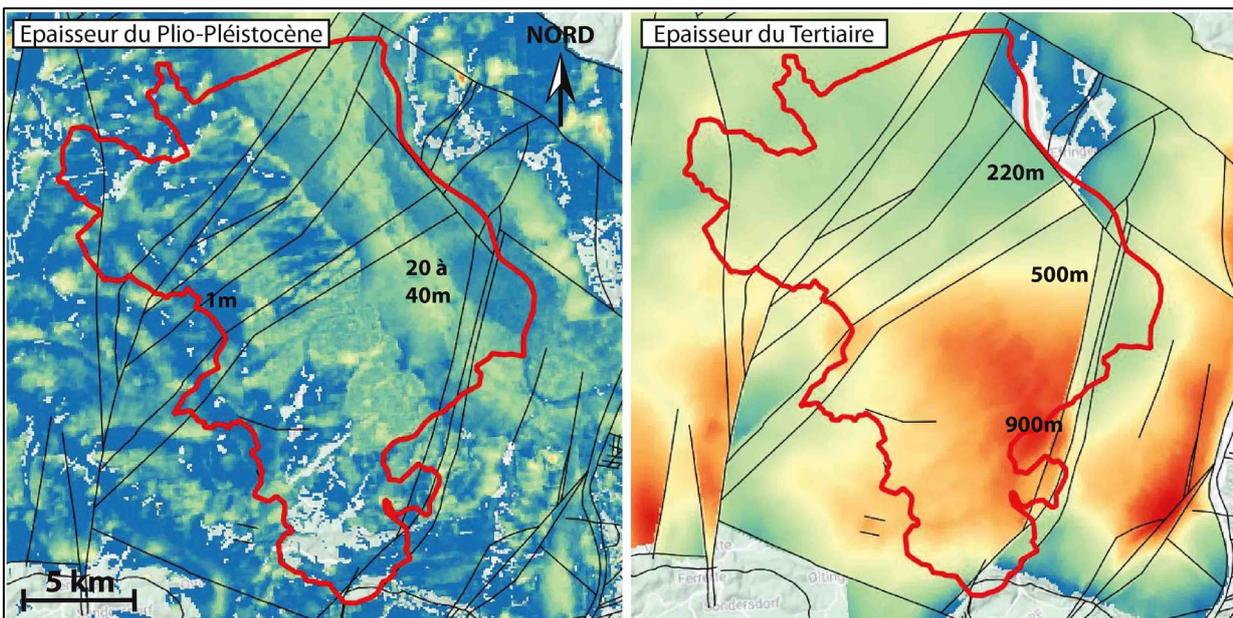


Illustration 17 : Exemples de cartes d'épaisseur, au format "adf" (grilles du modèle GOCAD), du Plio-Pléistocène (Plio-Quaternaire) et du Tertiaire (Cénozoïque), avec superposition des failles (traits noirs)

### 2.2.3 Coupes géologiques

Grâce à l'espace cartographique créé pour le projet GEORG, une coupe a pu être éditée au niveau de l'agglomération de Saint-Louis (Illustration 18). Celle-ci permet de montrer que la zone d'étude se situe sur quatre grands domaines :

- Une partie au Nord-Ouest sans faille repérée sur les profils sismiques (bloc de "Rixheim"). Il faut cependant prendre en considération les failles N40° et N135° repérées sur les cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000 (vérification des décalages). Sur ce bloc, le Jurassique supérieur ou Malm (Oxfordien-Kimméridgien-Portlandien) est absent.
- Une partie centrale, où plusieurs failles profondes ont été repérées (partie nord du bloc de "Sierentz-Allschwill"). Le toit du Jurassique (Jurassique supérieur présent) a été pointé à environ 300-400 m de profondeur.

- Une partie au Sud (partie sud du bloc de "Sierentz-Allschwill"), qui correspond à un compartiment où le toit du Jurassique supérieur est abaissé d'environ 200 à 400 m (profondeur de 600 à 900 m).

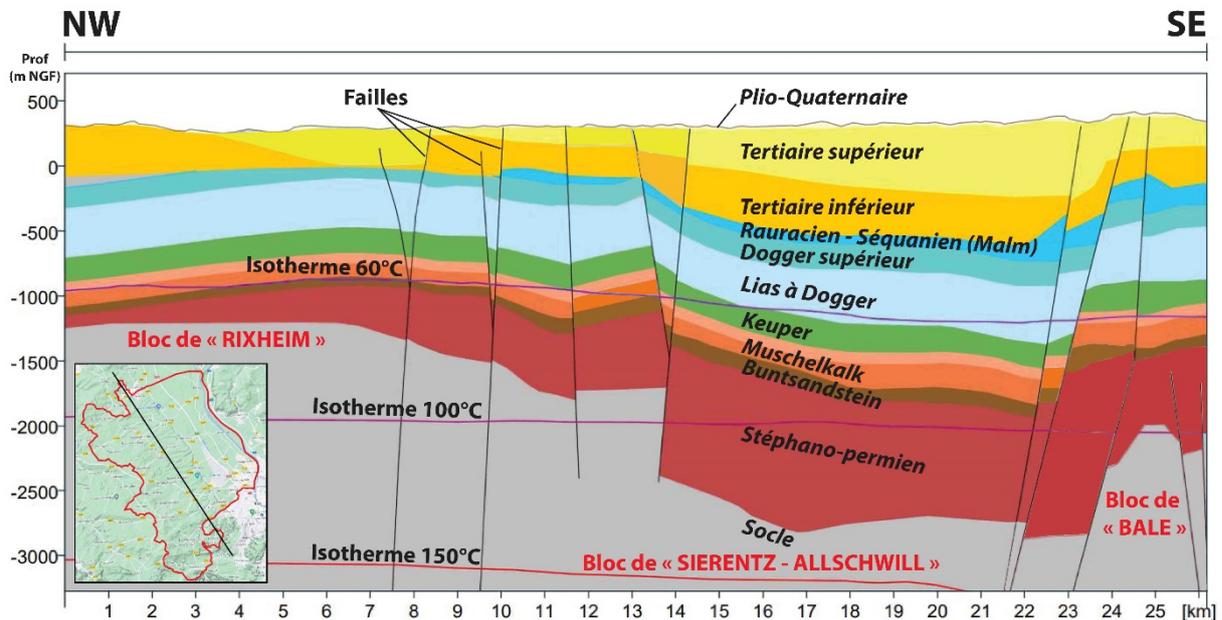


Illustration 18 : Coupe NW-SE réalisée sur le site internet de GEORG au niveau de la zone d'étude.

**Remarque 1 :** les formations du Tertiaire ("supérieur" et "inférieur") correspondent à un ensemble de formations régionales (françaises, allemandes et suisses). Pour le Tertiaire "supérieur" : formations de Weiterstadt, de Gross-Rohrheim, de Landau, de Bruchsal, de Niederroedern, de Froidefontaine, Grès d'Eguisheim et Gompholites d'Ajoie. Pour le Tertiaire "inférieur" : formations de Pechelbronn, d'Haguenau, de Wittelsheim, Conglomérats côtiers et formation de Schliengen.

**Remarque 2 :** l'étude de Michel et al. (2017), réalisée sur la ville de Bâle, a montré que c'était le toit du Jurassique, et particulièrement le toit de la Grande Oolithe, qui était l'interface géophysique majeure ("geophysical bedrock") à considérer lors d'une étude de risque sismique. L'illustration 19 présente la coupe de synthèse réalisée dans cette étude.

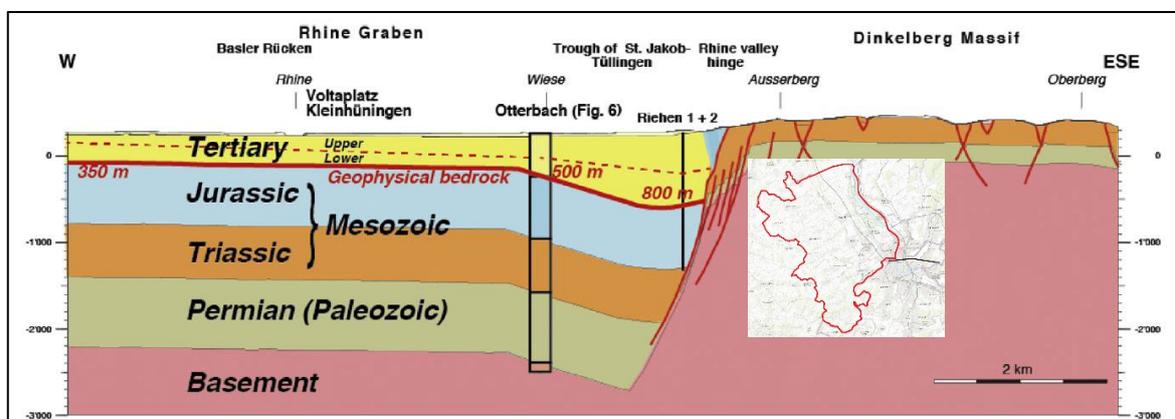


Illustration 19 : Coupe Ouest-Est réalisée au niveau de la ville de Bâle et du site d'Otterbach. Le substrat géophysique ("geophysical bedrock") est surligné en rouge. Michel et al., 2017 (modifié d'après Häring, 2006).

## 2.3 DONNEES D'ALEA SISMIQUE

### 2.3.1 Catalogue de sismicité régional

Le catalogue de séismes principalement utilisé est le catalogue FCAT-17 (Manchuel, et al., 2018) qui couvre l'ensemble de la France Métropolitaine et au-delà de la côte et des frontières jusqu'à 40 km de distance. FCAT-17 est une compilation du catalogue français de sismicité instrumentale SI-HEX 1962-2009 (Cara, et al., 2015) avec la sismicité historique connue et réévaluée dans le cadre du projet de recherche SIGMA, en utilisant la même échelle de magnitude, à savoir la magnitude de moment  $M_w^2$ . Ce catalogue a été complété avec le catalogue du RENASS pour la période récente 2010-2020 en convertissant les magnitudes ML en  $M_w$  selon les formules de conversion utilisées dans le projet SI-HEX (Cara, et al., 2015).

De plus, le catalogue SisFrance permet de compléter les périodes manquantes. SisFrance est une base de données nationale de la sismicité historique en France de 1300 à 2007. Les observations effectuées par la population lors des séismes ont permis aux auteurs (BRGM, EDF, IRSN) de déterminer des intensités macrosismiques, déduire des épicentres et leur intensité, dater les événements et attribuer un indice de fiabilité.

### 2.3.2 Failles actives

La base de données des failles potentiellement actives (BDFa) (Jomard, et al., 2017) est la compilation de structures tectoniques avec des indices d'activité récente (postérieure au Miocène supérieur) la plus complète publiée en France jusqu'à présent (Illustration 20). Les informations compilées sont exhaustives dans un rayon de 50 km autour des installations nucléaires, comme c'est le cas de l'agglomération de Saint-Louis. Cependant, les auteurs pointent le besoin d'enrichir cette base par de nouvelles données, spécialement dans certaines zones comme le Graben du Rhin. Des réserves sont émises par les auteurs sur le fait que la terminaison des failles coïncide avec la limite de l'agglomération et sont donc potentiellement incomplètes.

---

<sup>2</sup> La magnitude mesure l'énergie libérée lors d'un séisme. Il existe plusieurs échelles de magnitude basées sur l'amplitude mesurée sur un sismographe. Ce mode de calcul induit des effets de saturation pour les plus gros événements. Une nouvelle échelle de magnitude  $M_w$  a été introduite en 1979, calibrée sur le moment sismique, d'où son nom de magnitude de moment. Le calcul est plus complexe, prenant en compte les basses fréquences des ondes sismiques. La magnitude de moment tend actuellement à être utilisée comme mesure unifiée de magnitude dans les catalogues de sismicité instrumentale.

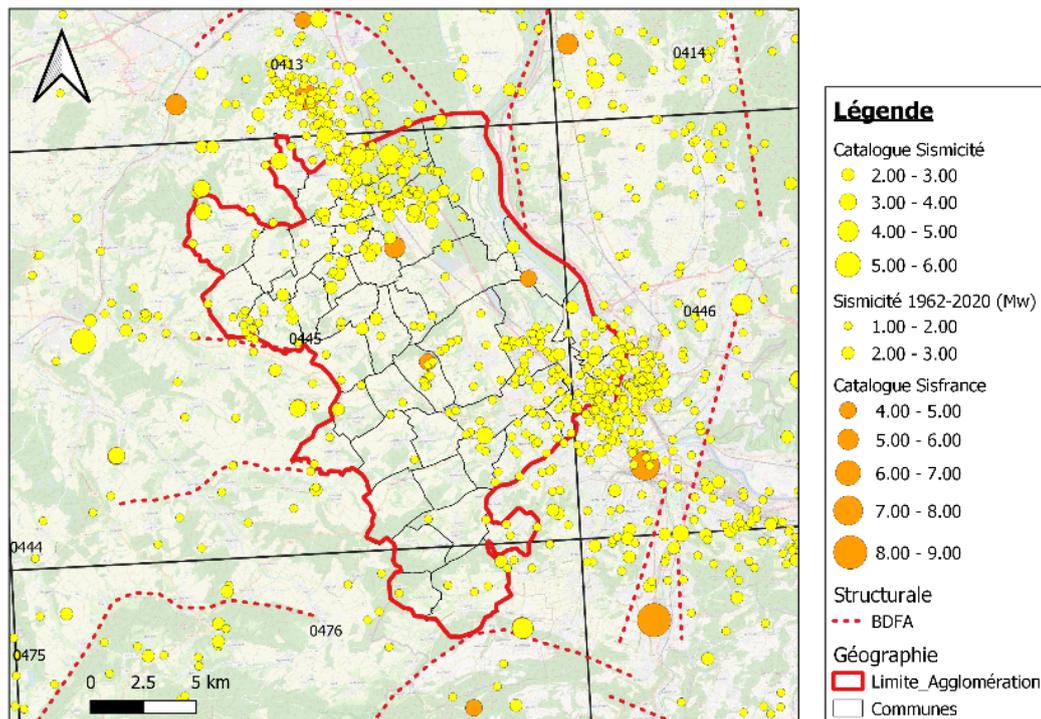


Illustration 20 : Sismicité instrumentale et historique de la France. En jaune, le catalogue FCAT-17 complété avec les données Renass (la taille des cercles dépend de la magnitude Mw). En orange, les séismes de la base de données SisFrance. La taille des cercles correspond à la magnitude Mw (jaune) et l'intensité macrosismiques (MSK et EMS 98) (orange). En trait discontinu rouge, les failles potentiellement actives reportées de la base de données B DFA.

### 2.3.3 Données Géophysiques

La géologie superficielle joue un rôle important dans le niveau d'agression observé lors d'un séisme. En effet, la présence de formations géologiques meubles en surface peut entraîner une amplification du mouvement sismique et un allongement de sa durée. On parle alors *d'effet de site lithologique*. Pour caractériser ces effets, il est nécessaire de connaître la nature et la géométrie des couches géologiques en surface (voir section Données géologiques), mais aussi leurs caractéristiques mécaniques. Pour cela, deux types de données géophysiques sol ont été collectées :

- Les données H/V, permettant de mesurer la fréquence de résonance des sols. Cette fréquence de résonance dépend de l'épaisseur de la couche meuble responsable de l'effet de site et de sa vitesse d'ondes S (ou  $V_s$ ) ;
- Les données MASW, permettant d'obtenir le profil de vitesse d'ondes S en fonction de la profondeur. Ces profils permettent de calculer le paramètre  $V_{s,30}$  utilisé dans la réglementation parasismique pour classer les sols selon les critères issus des règles parasismiques européennes Eurocode 8.

L'ensemble des données collectées provient du projet européen Interreg 2002-2006 intitulé « Microzonage de la région sud du Rhin Supérieur ». Ce projet commun entre la France, l'Allemagne et la Suisse visait à améliorer la connaissance de l'aléa sismique sur le Sud du Fossé Rhénan, afin de quantifier les accélérations prévisibles en cas de séisme fort dans la région de Bâle et Mulhouse (Granet & Boulanger, 2006). Lors de ce projet, l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg a réalisé 250 mesures H/V sur le secteur de Saint-Louis (dont 126 s'avèrent

exploitables). Ces mesures montraient l'importance des effets de site dans la zone d'étude avec des fréquences de résonance très basses (entre 0,8 et 1,2 Hz) correspondant à une interface profonde située dans les dépôts du Tertiaire. En complément, le BRGM a réalisé 20 profils MASW répartis sur les 3 pays dans la zone des Trois Frontières et 18 profils MASW dans la zone de Mulhouse. L'ensemble de ces profils sera utilisable pour caractériser les formations géologiques présentes sur l'agglomération de Saint-Louis (Roullé, Bitri, Mathieu, & Richalet, 2007). Des mesures de bruit de fond en réseau ont également été réalisées côté suisse, afin de compléter les mesures MASW en profondeur (Havenith, Fah, Polom, & Roullé, 2007). Bien que réalisées hors de la zone d'intérêt, elles peuvent nous apporter des informations complémentaires sur les formations géologiques similaires rencontrées côté français (Illustration 21). A ce jour, aucune donnée numérique et géoréférencée correspondant à ces profils n'est disponible : des contacts avec l'ETH Zürich seront à prévoir si nécessaire pour les récupérer.

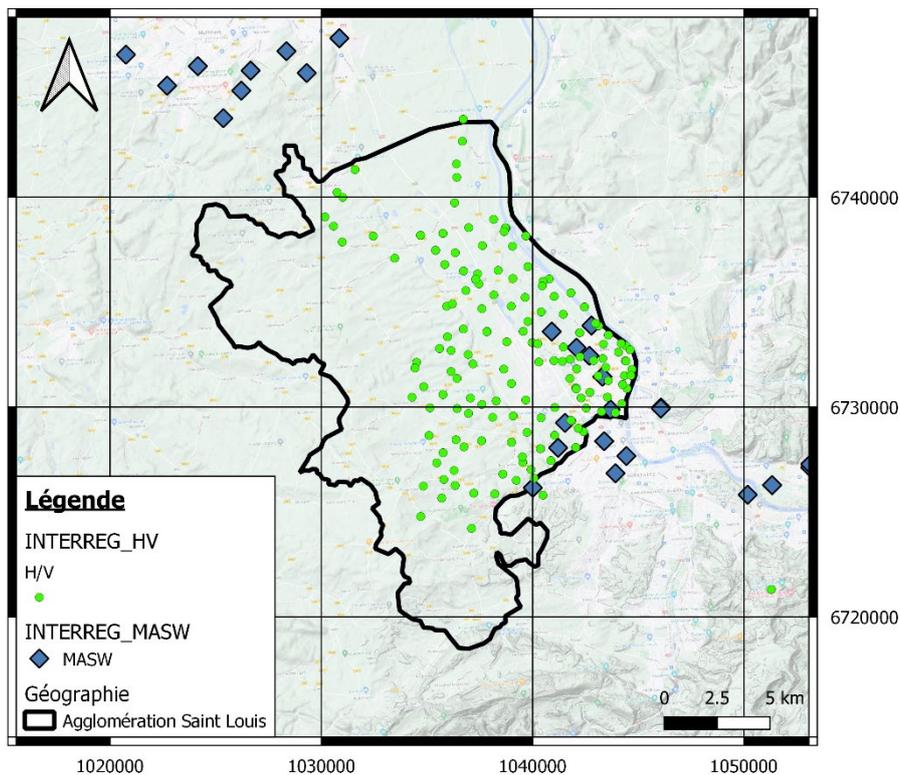


Illustration 21 : Compilation des mesures géophysiques MASW (losange) et H/V (points) disponibles sur la zone d'étude

La cartographie des mesures géophysiques disponibles montrent une bonne distribution spatiale des données dans la moitié Est et Sud-Est de la zone d'étude. A contrario, le Sud-Ouest et le Nord-Nord-Ouest de la zone sont très mal couverts. Des mesures complémentaires seraient à prévoir pour améliorer notre connaissance des effets de site dans ces zones.

## 2.4 DONNEES DE VULNERABILITE DES ENJEUX ET RISQUES

### 2.4.1 Scénarii de risque sismique issus du partenariat CCR-BRGM

Dans le cadre d'un partenariat entre le BRGM et la CCR (Caisse Centrale de Réassurance) entre 2014 et 2020, le BRGM a réalisé des scénarii de risque sismique sur l'ensemble du territoire français à l'échelle départementale (Rey, Hoste Colomer, Imtiaz, & Monfort Climent, 2020). Un

scenario est une simulation numérique, qui permet d'estimer l'impact et les conséquences d'un séisme de référence sur le milieu, en particulier les personnes et les biens. Il croise donc un niveau d'agression attendu (aléa sismique) avec les enjeux présents sur la zone de travail et leur vulnérabilité face au séisme. On obtient ainsi une cartographie du risque sismique sur une zone donnée. Un scenario peut se faire à aléa constant sur toute la zone de travail ou pour un séisme de scenario donné.

La réalisation d'un scenario de risque s'appuie notamment sur la connaissance de la vulnérabilité des enjeux, c'est-à-dire une évaluation de la propension d'un ensemble de bâtiments à subir des dommages en cas de séisme, à partir de l'analyse des caractéristiques structurales, géométriques ou technologiques susceptibles d'influencer leur comportement. Dans le cadre des études réalisées avec la CCR, la méthodologie utilisée a été développée dans le cadre du projet européen RISK-UE. Elle 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) (Sedan, et al., 2013).

La mise en œuvre d'un scenario sismique 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.

Les simulations sont réalisées avec le programme ARMAGEDOM (Sedan, et al., 2013).

Dans ce cadre, les données d'entrée pour la réalisation de scénarii de dommages à l'échelle départementale sur l'ensemble du département du Haut-Rhin sont disponibles. Néanmoins, ces études ayant été réalisées à l'échelle départementale, il serait intéressant d'affiner la précision des données d'entrée (notamment en termes de vulnérabilité) pour aboutir à une échelle de restitution mieux adaptée à la zone d'étude (échelle visée : 1/50 000). Par ailleurs, les scénarii actuels n'ont traité que le bâti courant et certains bâtis commerciaux. Il serait intéressant d'y ajouter les réseaux routiers, notamment pour la préparation à la gestion de crise, ainsi que certains bâtiments stratégiques (à traiter de façon statistique).

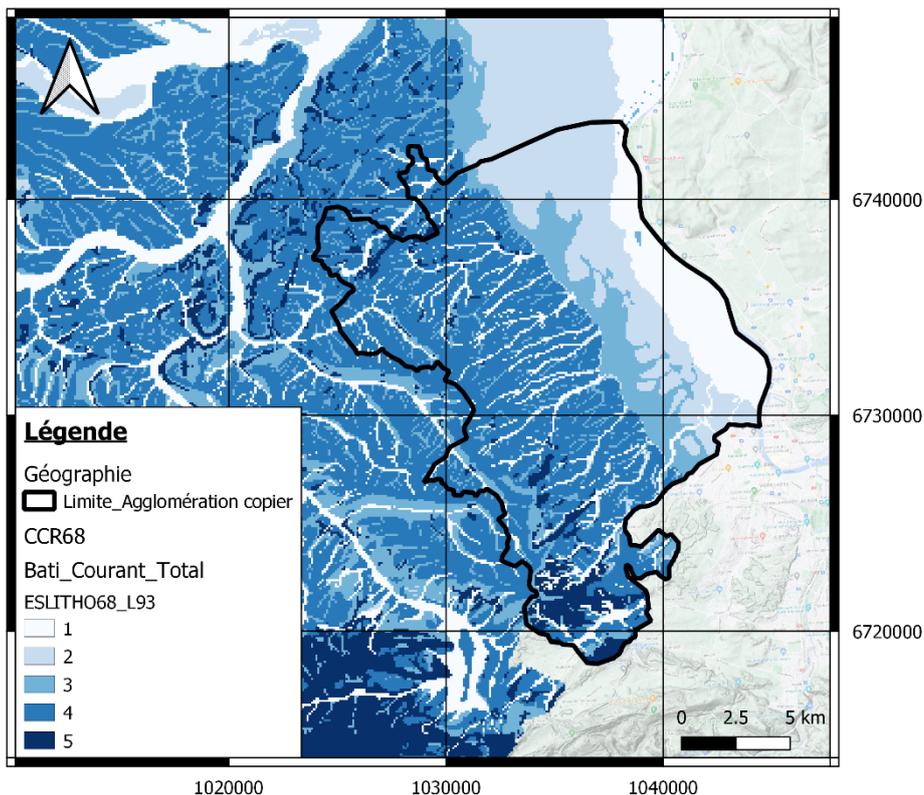


Illustration 22 : Cartographie des effets de site lithologiques utilisée dans le cadre de l'étude CCR pour l'Alsace (l'échelle de couleur indique le coefficient d'amplification 'décroissant' basé sur les spectres EC8 de la réglementation parasismique française en vigueur)

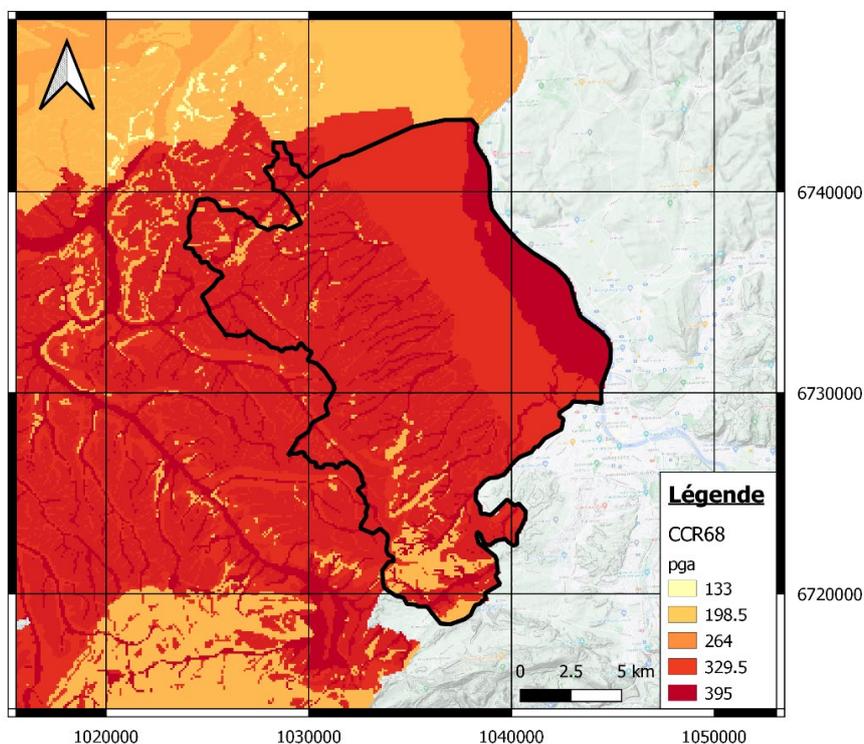


Illustration 23 : Résultats des accélérations maximales (pga) du sol dans le cadre de l'étude CCR pour l'Alsace

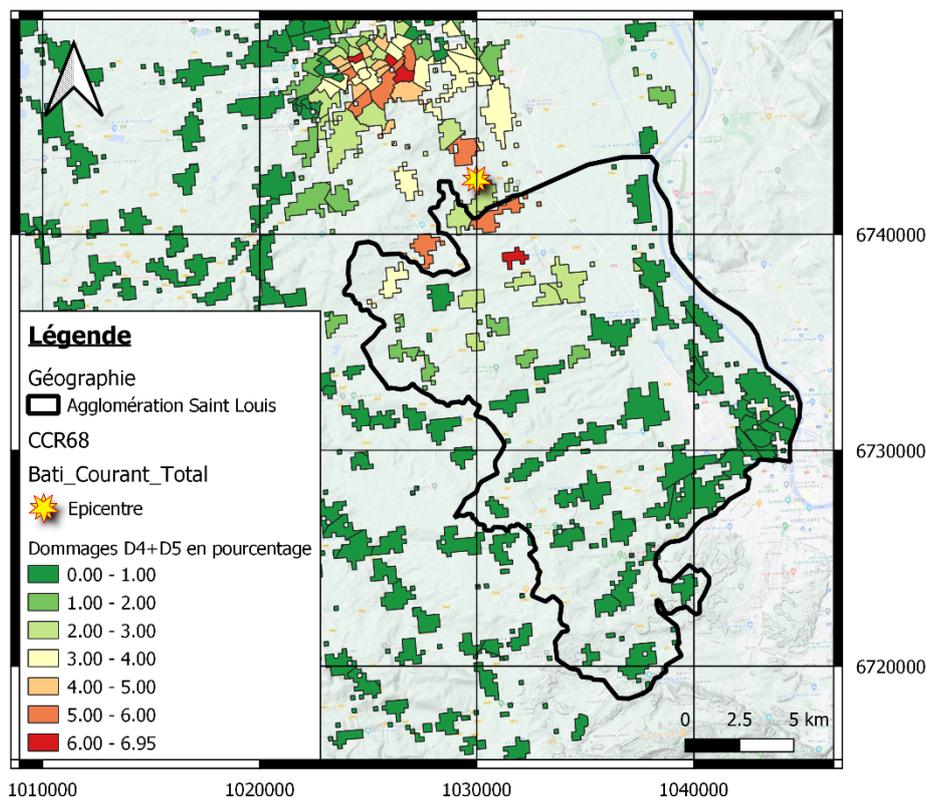


Illustration 24 : Exemple de résultat de scénario de pourcentage de dommage D4 et D5 pour le bâti courant lié à une accélération produite par un séisme (étoile jaune) de magnitude 5.8 au Nord de l'agglomération de Saint-Louis

#### 2.4.2 Vulnérabilité du bâti alsacien issue de l'étude du BCSF et scénarii associés

En 2011, le BCSF a réalisé une étude de la vulnérabilité du bâti alsacien pour le compte de la DREAL. Cette étude avait pour objectif le calcul du nombre et de la proportion des bâtiments à usage de logements par classe de vulnérabilité de l'EMS-98 en Alsace à l'échelle de la commune ou de l'IRIS. Pour cela, trois bases de données différentes ont été utilisées : la BD des enquêtes de vulnérabilité BCSF auprès des communes, la BD macrosismique BCSF et la BD MAJIC II issue des déclarations foncières des propriétaires. A noter qu'il n'y a pas eu de retour aux enquêtes de vulnérabilité BCSF sur le Haut Rhin.

A ce travail s'ajoutait la cartographie à diverses échelles de cette vulnérabilité et des dégâts potentiels suivant divers niveaux de sollicitation sismique en se basant sur la méthode RISK-UE (RISK - EU, 2003). Cette cartographie a été fournie sous forme d'atlas par entité géographique traitée (région, départements, cantons, communes) mais n'est actuellement pas disponible en ligne. Il serait intéressant de confronter ces résultats avec ceux obtenus plus récemment lors des travaux effectués par le BRGM pour la CCR (paragraphe suivant), les deux méthodologies de scénarii étant comparables.



### **3. Propositions d'actions pour l'amélioration de la connaissance du risque sismique sur l'agglomération de Saint-Louis**

Les données existantes sur l'agglomération de Saint-Louis sont très riches et peuvent être valorisées de différentes façons pour améliorer la connaissance du risque sismique. Les propositions sont les suivantes (par ordre de priorité) :

- L'établissement de scénarii de risque sismique,
- La réalisation d'un microzonage sismique.

Chacune de ces propositions peut être déclinée selon plusieurs degrés de précision.

#### **3.1 SCENARIO DE RISQUES**

Un scénario de risques permet d'obtenir une évaluation/cartographie des dommages attendus sur une zone donnée en cas de séisme. Il croise les informations sur l'aléa régional (niveau d'agression), l'aléa local (classes de sol), les enjeux et leur vulnérabilité. Il correspond donc à une cartographie du risque sismique. Il permet de faire du porter à connaissance, de hiérarchiser les zones à risque, de proposer des scénarii réalistes pour la préparation à la gestion de crise. L'échelle de travail classique est le 1/50 000.

Pour réaliser ces scénarii, il est possible de se baser sur les travaux existants. Néanmoins, il est préconisé de réaliser un travail d'amélioration et de mise à jour des données d'entrée des simulations pour améliorer la précision des résultats par rapport aux scénarii établis lors des travaux avec la CCR (Rey, Hoste Colomer, Imtiaz, & Monfort Climent, 2020). Les points à améliorer/développer sont par exemple :

- Meilleure prise en compte des failles actives. Dans un premier temps, il faudrait revenir sur les indices des failles BDFA et la cartographie des tracés de failles, ainsi que revoir les études de contraintes actuelles pour repérer des structures potentiellement actives en complément. Si l'activité d'une faille était suspectée dans l'agglomération, il faudrait préconiser des travaux de caractérisation, afin de les prendre en compte dans les scénarii (ou dans un microzonage) ;
- Amélioration de la cartographie des classes de sol EC8 en incluant par exemple les sondages validés et les cartographies de formations superficielles issues des travaux de BRAR ou du RGF, ou en complétant les données géophysiques disponibles par une campagne d'acquisition complémentaire ;
- Amélioration de la connaissance sur la vulnérabilité des enjeux, en établissant une cartographie de la typologie du bâti courant par quartiers (et non par ilots IRIS comme c'est le cas actuellement) en tenant compte du travail réalisé par le BCSF sur l'Alsace (Schlupp, Mendel, Van der Woerd, & Sira, 2011) et en complétant par un travail de terrain pour affiner l'estimation des indices de vulnérabilité du bâti alsacien ;
- Prise en compte des réseaux (notamment routiers) ;
- Prise en compte du bâti stratégique de type écoles, mairies, hôpitaux, centres de gestion de crise, etc... (à traiter selon une méthodologie statistique).

### 3.2 MICROZONAGE SISMIQUE

Un microzonage sismique consiste en une cartographie de l'aléa sismique local (volet effets de site lithologiques), soit en suivant les classes de sol EC8, soit en définissant des classes de sol spécifiques. Il peut intégrer également les effets de site topographiques (sachant que l'agglomération de Saint-Louis n'est peu ou pas concernée par ce phénomène) et la liquéfaction. Il a vocation à être utilisé dans un PPRS<sup>3</sup> à des fins prescriptives (à l'échelle communale). Les particularités d'un PPRS sont qu'il ne comporte généralement pas de zones inconstructibles (contrairement aux PPRI<sup>4</sup> par ex.), mais qu'il comporte des prescriptions sur le bâti courant.

Dans le cas de l'agglomération de Saint-Louis, la superficie à couvrir étant assez grande avec de fortes disparités spatiales en termes d'aléa et d'enjeux, il ne semble pas opportun de couvrir l'ensemble de la zone par un microzonage : il est préconisé de focaliser les efforts sur les zones les plus à risque après une étape de hiérarchisation du risque sur l'ensemble de l'agglomération. Par ailleurs, il n'est pas conseillé de réaliser un microzonage basé sur les classes de sol EC8, du fait de la configuration géologique particulière de la zone (présence d'un bassin profond avec forte susceptibilité à présenter des effets 2D ou 3D complexes). Une étude spécifique est donc préconisée avec, soit une option simple basée sur des hypothèses 1D, soit, pour l'option la plus complexe, prise en compte des effets liés à la géométrie particulière du Fossé Rhénan, *via* des simulations numériques 3D. Dans les deux cas, une bonne connaissance de la géométrie des couches géologiques sous-jacentes et de leurs caractéristiques mécaniques sera indispensable.

### 3.3 TABLEAU COMPARATIF SYNTHETIQUE

	<b>Scénario de risques</b>	<b>Microzonage</b>
Echelle de l'étude	Agglomération	Commune
Echelle de restitution	1/50 000	1/10 000, 1/25 000
Définition d'un niveau d'aléa	Oui	Oui
Définition d'un niveau de vulnérabilité	Oui	Non
Définition d'un niveau de risques	Oui	Non
Dimension	1D	1D, 2D, 3D
Prises en compte des effets liés aux failles	Non	Oui, si simulations 3D
Prise en compte des effets de site	Oui, de façon forfaitaire (EC8)	Oui, de façon spécifique
Fins prescriptives	Non	Oui

<sup>3</sup> PPRS : Plan de Prévention Risque Sismique

<sup>4</sup> PPRI : Plan de Prévention au Risque Inondation

## 4. Conclusion

Afin de synthétiser l'ensemble des données disponibles, un grand nombre d'acteurs locaux ont été contactés pour récupérer les informations qui pourraient être intégrées à l'étude.

Ainsi ont pu être identifiées comme données intégrables dans une étude postérieure :

- Des données géologiques (cartographies, forages, modèles numériques, structurales) ;
- Des données sismiques (base de données événementielle, failles actives, géophysiques).

Si certaines de ces données sont utilisables en l'état (base de données des log validés), la plupart devront faire l'objet d'études complémentaires ou de validation.

L'étude des données disponibles a permis de proposer à la DDT du Haut-Rhin, 2 actions possibles à mettre en place pour améliorer la connaissance du risque sismique sur l'agglomération de Saint-Louis.

La zone d'étude étant très vaste (268 Km<sup>2</sup>), il est préconisé de travailler à différentes échelles et en phasant le travail. Dans un premier temps, il est proposé, de réaliser des scénarii de risque sur l'ensemble de l'agglomération de Saint-Louis pour le bâti courant, en incluant éventuellement les réseaux et les bâtiments stratégiques (écoles, mairies, hôpitaux, centres de gestion de crise, etc...). Ces derniers seraient traités de façon statistique. L'échelle de restitution cible serait le 1/50 000.

Dans un deuxième temps, pour les zones à plus haut risque identifiées d'après les résultats des scénarii, une étude spécifique 1D pourrait être réalisée pour aboutir à un microzonage sismique avec obtention de classes de sol et spectres spécifiques. L'échelle de restitution cible serait alors le 1/25 000 ou le 1/10 000 dans les zones à enjeux. Ce microzonage pourrait inclure une étude spécifique 3D pour tenir compte des potentiels effets aggravants liés à la géométrie du bassin.



## 5. Bibliographie

- Beccaletto, Laurent, Nitsch, Anders, Birte, Dressmann, . . . Capar. (2012). *3D Structural modelling of a french rift basin : the Upper Rhine Graben of NW Europe as a case study - Contribution of the EU GeoRG project.*
- Cara, M., Cansi, Y., Schlupp, A., Arroucau, P., Béthoux, N., Beucler, E., . . . Woerd, K. (2015). *SI-Hex : A new catalogue of instrumental seismicity for metropolitan France. Bulletin de la Société Géologique de France. 186. 3-19. 10.2113/gssgfbull.186.1.3.*
- Gabalda, S., Vernhet, Y., Rambourg, D., Prognon, C., Chevremont, P., Capar, L., . . . Tertre, F. (2013). *Elaboration d'un chantier RGF : Retour d'expérience du chantier pilote Vosges - Fossé Rhéna. BRGM/RP-63008-FR.*
- Granet, M., & Boulanger, O. (2006). *Rapport final d'activité - Contrat INTERREG III n°3c.8 2002-2006. "Microzonage sismique de la région sud du Rhin Supérieur".*
- Havenith, H., Fah, D., Polom, U., & Roullé, A. (2007). *S-wave velocity measurements applied to the seismic microzonation of Basel, Upper Rhine Graben. Geophysical Journal International, 170(1), 346-358.*
- Jomard, H., Cushing, E., Palumbo, L., Baize, S., David, C., & Chartier, T. (2017). *Transposing an active fault database into a seismic hazard fault model for nuclear facilities – Part 1: Building a database of potentially active faults (B DFA) for metropolitan France.*
- Manchuel, K., Traversa, P., Baumont, D., Cara, M., Nayman, E., & Durouchoux, C. (2018). *The French seismic CATalogue (FCAT-17). Bulletin of earthquake engineering. 16.10.1007/s10518-017-0236-1.*
- Quesnel, F., Lacquement, F., Kramers, E., Greder, C., & Elsass, P. (2002). *Cartographie thématique numérique à 1/25 000 des formations superficielles de la Plaine Rhénane sur les zones Centre-Plaine et Sud-Alsace. BRGM/RP-52145-FR.*
- Rey, J., Auclair, S., Bes de Berc, S., Negulescu, C., & Vandromme, R. (2009). *Pré-diagnostic sur les microzonages sismiques pour des communes d'importance variable. BRGM/RP57129-FR.*
- Rey, J., Hoste Colomer, R., Imtiaz, A., & Monfort Climent, D. (2020). *Partenariat CCR-BRGM 2014-2020 - Travaux menés en 2019-2020 dans le cadre du programme commun sur le risque sismique. BRGM/RP-70152-FR.*
- RISK - EU. (2003). *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different european towns. WP4: Vulnerability of current buildings. European project.*
- Roullé, A., Bitri, A., Mathieu, F., & Richalet, G. (2007). *Microzonage sismique de la région du sud du Rhin Supérieur - Synthèse du travail réalisé par le BRGM. BRGM/RP-53712-FR.*
- 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.*



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Direction régionale Grand Est  
Délégation de Strasbourg**

Parc d'Activité Porte Sud – Bât H1  
Rue du Pont du Péage  
67118 - Geispolsheim  
Tél. : 03 88 77 48 90

[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**