



Référentiel hydrogéologique Français BDLISA version 1 : Présentation du référentiel. Principe de construction et mise en oeuvre



Rapport final

BRGM/RP-65370-FR

Décembre 2015

Référentiel hydrogéologique Français BDLISA version 1 : Présentation du référentiel. Principe de construction et mise en oeuvre

Rapport final

BRGM/RP-65370-FR

Décembre 2015

Étude réalisée dans le cadre de la convention ONEMA-BRGM 2013-2015

J.B. Paroissien, A. Brugeron

Avec la collaboration de

O. Sedan, C. Renaud, R. Quique et E. Taffoureau

Vérificateur :

Nom : L Gourcy

Fonction : CS EAU

Date : 10/12/2015

Signature :



Approbateur :

Nom : L. Chery

Fonction : Responsable d'unité
D3E/EVE

Date : 17/03/2016

Signature :



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

RESUME

Le référentiel hydrogéologique BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères) est un outil qui permet de localiser et de caractériser les formations géologiques aquifères, semi-perméables et imperméables, à l'échelle du territoire national (départements métropolitains et d'outre-mer, à l'exception du département de Mayotte) sous trois niveaux de visualisation (nationale, régionale et locale). Il fournit un cadre scientifique précieux aux acteurs et gestionnaires de la ressource en eau. Plus largement, la BDLISA prend part à la constitution des données du Système d'Information sur l'Eau¹ en France.

La construction du référentiel se base dans un premier temps sur l'analyse des données (géologiques, hydrogéologiques, documents de synthèses divers...) et la constitution d'un tableau multi-échelles ou TME. Cette phase laisse la place ensuite à une phase technique de délimitation géographique des entités hydrogéologiques en fonction du contexte géologique. L'ensemble des entités est ensuite assemblé et contrôlé à l'échelle du territoire national.

Après des phases de construction ayant abouti aux versions Bêta puis 0, la nouvelle version 1 intègre des améliorations en conformité avec le modèle de données SANDRE (Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau) et propose des nouveautés :

- les contours des entités hydrogéologiques ont été affinés grâce à l'amélioration des connaissances (nouveaux forages, formations modélisées, études locales...) ;
- le référencement des entités karstiques se trouve désormais dans une couche SIG indépendante ;
- les formations alluviales aquifères (productives) ont été définies en tant qu'entités principales.

Le référentiel est téléchargeable sur www.sandre.eaufrance.fr sous différents formats de fichiers. Il est également accessible à travers des services-web cartographiques qui permettent de visualiser les entités hydrogéologiques sur un système d'information géographique ou sur une application web.

Mots-clés : Hydrogéologie, Eau souterraine, Système d'information, Entité hydrogéologique, Base de données, Synthèse hydrogéologique, Nappe

Couverture géographique : France, DROM,
Niveau de lecture : Avertis

CORRESPONDANTS ONEMA : Céline NOWAK

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

Paroissien J.B., Brugeron A., Sedan O., Renaud C., Quique R., Taffoureau E. (2015) – Référentiel hydrogéologique Français BDLISA version 1 : Présentation du référentiel. Principe de construction et mise en œuvre. Rapport final. BRGM/RP-65370-FR, 84 p., 24 fig., 15 tabl.

¹ Dispositif créé par l'État pour le partage et la mise à disposition des données sur l'eau du secteur public (<http://www.eaufrance.fr/a-propos-d-eaufrance/le-systeme-d-information-sur-l-eau>).

SUMMARY

The Hydrogeological Reference System BDLISA (for Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères) is a tool that helps user to localize and characterize aquifer, aquitard and aquiclude formations for the whole national territory (inland France and overseas departments excepted Mayotte). The visualization is possible at three different scales (national, regional and local). It provides a valuable scientific framework to stakeholders and water resource managers. More generally, BDLISA takes part to the constitution of data for the Water Information System in France.

In the first instance, the construction of this reference system is based on the analysis of different types of data (geological, hydrogeological, synthesis documents...) and the constitution of a multi-scale table that compiles the entire succession of hydrogeological entities. Then a second phase, more technical, is carried out, of geographical definition, depending on the geological global context. Finally, all entities are compiled in one single container, BDLISA, and controlled at the national scale.

After several construction phases which have led to BDLISA versions Beta and 0, the new version 1 includes improvements in conformity with the data model SANDRE (French National Service for Water Data and Reference Datasets Management) and contains novelties:

- Delineations of some hydrogeological entities have been refined based on the improvement of knowledge (new drilled water wells, modeling results, local studies results...);
- Karstic entities are now compiled in one single and independent GIS layer;
- Water-bearing alluvial formations are now considered as important hydrogeological entities.

The reference system is downloadable on www.sandre.eaufrance.fr, in different file formats. It is also accessible through cartographical web services that helps user to visualize hydrogeological entities with GIS software or in a web application.

Keywords:

Hydrogeological Reference System, National Reference System, BDLISA, Aquifer System, Hydrogeological unit, France

Avertissement

Ce rapport présente la version 1 du référentiel hydrogéologique Français BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères). Cette nouvelle version du référentiel est issue d'un travail de consolidation basé sur le retour d'expérience des utilisateurs et sur des réflexions menées par des groupes de travail nationaux (Ministère en charge de l'écologie, agences de l'eau, Onema, BRGM, DREAL de bassin...). Cette version intègre ainsi des améliorations et des nouveautés :

- les contours des entités hydrogéologiques ont été affinés grâce à l'amélioration des connaissances (nouveaux forages, formations modélisées, études locales...);
- le référencement des entités karstiques se trouve désormais dans une couche SIG indépendante ;
- les formations alluviales aquifères productives ont été définies en tant qu'entités principales.

Ce rapport est une mise à jour du précédent rapport [RP-62261-FR](#) qui présentait de manière exhaustive la construction de la BDLISA V0. Le rapport s'attache à décrire la construction de la BDLISA de manière synthétique et complète la description initiale par les nouveautés apportées à la version 1 du référentiel. Il présente également les processus de validation et de diffusion de la BDLISA.

Nous invitons le lecteur intéressé par la construction détaillée de la BDLISA à parcourir également le guide national BDLISA ([RP-52261-FR](#)). Une lecture synthétique de la construction du référentiel BDLISA est proposée dans le rapport de synthèse [RP-65369-FR](#) et dans la fiche technique [SIE](#)².

² http://www.reseau.eaufrance.fr/webfm_send/4962

Avant-propos

La construction de BDLISA est une œuvre collective à laquelle ont contribué :

- le Ministère en charge de l'Écologie, les Agences de l'eau, l'ONEMA et le BRGM pour leur contribution scientifique et financière à ce projet ;
- le centre scientifique et technique du BRGM appuyé par ses services géologiques régionaux pour la spécification et la construction du référentiel, en application du Schéma National des Données sur l'Eau (SNDE). Une centaine d'hydrogéologues y ont contribué et l'on trouvera au chapitre 12 de ce rapport, dans la liste des rapports d'étape, les noms des nombreux contributeurs à ce travail ;
- la Direction de l'eau et de la biodiversité du Ministère en charge de l'Écologie qui a assuré le secrétariat du comité de pilotage national, en collaboration avec les autres partenaires ;
- le SANDRE qui assure la diffusion de ce référentiel et qui a piloté le groupe de travail qui a permis l'élaboration du modèle de données et du dictionnaire de données de ce référentiel, en application du SNDE ;
- les DREAL (DRIEE pour l'Île-de-France), les Agences et Offices de l'eau qui ont assuré le suivi de ces travaux et de leur validation et qui participeront également aux mises à jour ;
- les collectivités territoriales, les organismes de recherche, les bureaux d'études, qui ont été associés aux différentes étapes de construction et qui ont également été sollicités pour valider les travaux et/ou contribuer aux étapes de caractérisation des entités hydrogéologiques.

Synthèse pour l'action opérationnelle

La BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères) est le référentiel hydrogéologique français. C'est un outil qui permet de localiser et de caractériser les formations géologiques aquifères, semi-perméables et imperméables, à l'échelle du territoire national (départements métropolitains et d'outre-mer, à l'exception du département de Mayotte) sous trois niveaux de visualisation (national, régional et local). Il fournit un cadre scientifique précieux aux acteurs et gestionnaires de la ressource en eau. Plus largement, la BDLISA prend part à la constitution des données du Système d'Information sur l'Eau (SIE) en France.

Les principales caractéristiques du référentiel

La BDLISA met à disposition une cartographie des « entités hydrogéologiques ». Celles-ci sont définies selon des règles communes, en s'appuyant sur la cartographie des formations géologiques. De même, elles sont identifiées de manière unique et décrites du point de vue de leurs caractéristiques hydrogéologiques. La création de ces entités est basée sur l'état des connaissances actuelles et s'appuie sur ces principales règles de construction :

- **Niveau de visualisation** : les entités hydrogéologiques sont emboîtées au sein de trois échelles spatiales pour offrir différents niveaux d'observation et d'application de la BDLISA (niveau national, niveau régional, niveau local) ;
- **Ordre des entités hydrogéologiques** : la méthode de construction de la BDLISA prend en compte la dimension verticale des entités hydrogéologiques qui se superposent. Les niveaux de recouvrement d'une entité hydrogéologique sont indiqués par un ordre relatif aux autres entités (ordre 1 pour les entités affleurantes, ordre 2 pour les entités situées juste au-dessous...). Le numéro d'ordre qui est affecté aux entités permet de suivre la « progression » de chacune d'elles en profondeur et de la localiser en un point dans la « pile » des entités hydrogéologiques. En revanche, l'épaisseur des entités n'est pas prise en compte ;
- **La complétude** : l'ensemble du territoire est couvert par au moins une entité hydrogéologique (à l'exception de Mayotte, à ce jour).

L'échelle de travail est le 1/50 000 et les sources d'information pour construire le référentiel sont essentiellement basées sur les cartes géologiques harmonisées au 1/50 000 et les données relatives à la Banque du Sous-Sol. La délimitation donne lieu à une caractérisation des entités hydrogéologiques selon les attributs suivants :

- **Le niveau de visualisation** propose trois niveaux d'observations et d'application de la BDLISA. Le niveau national **NV1** est utilisable pour la mise en œuvre des politiques publiques et pour des projets à l'échelle nationale (impact du changement climatique sur la ressource en eau, risques de remontée de nappes...). Le niveau régional **NV2** propose un niveau de visualisation qui facilite la réalisation d'atlas hydrogéologiques ou l'évaluation des ressources en eau. Le niveau local **NV3** permet d'appuyer des études comme la réalisation de cartes piézométriques et la modélisation d'un aquifère par exemple.

- **Le thème** caractérise les grands types de domaines géologiques. Cinq thèmes géologiques ont été retenus : l'alluvial, le sédimentaire, le socle, le volcanique et l'intensément plissé de montagne.
- **La nature** indique le potentiel aquifère de l'entité hydrogéologique. L'attribut est défini selon le niveau de visualisation et à travers 8 types d'attributs :
 - Niveau 1 : grand système aquifère, grand domaine hydrogéologique, grand système multicouche ;
 - Niveau 2 : système aquifère, domaine hydrogéologique ;
 - Niveau 3 : unité aquifère, unité semi-perméable, unité imperméable.
- **Le milieu** décrit le type de porosité de l'entité hydrogéologique. 9 types précisent la principale porosité de l'entité : poreux, fissuré, karstique, matricielle/fissures, karstique/fissures, fractures et/ou fissures, matricielle/fractures, matricielle/karstique, matrice/fracture/karst.
- **L'état** caractérise l'état de la nappe dans l'entité hydrogéologique. 5 types d'états ont été déterminés : nappe captive, nappe libre, nappe libre et captive, alternativement libre puis captive et semi-captive.

La construction du référentiel

La BDLISA est constituée en plusieurs phases. La phase de construction a lieu en région où les directions régionales du BRGM et les acteurs locaux compétents s'associent pour rassembler les connaissances géologiques et hydrogéologiques d'une région. La construction par région s'appuie sur le développement d'un Tableau Multi-Echelles (TME) et sur la délimitation des entités hydrogéologiques. Ces deux étapes sont itératives et plusieurs versions se succèdent durant les phases de délimitation des entités hydrogéologiques avant d'aboutir à des délimitations finalisées.

La dernière phase consiste à assembler et harmoniser la base à l'échelle du territoire. Un programme informatique permet de vérifier la cohérence des TME régionaux, le respect des principes fondamentaux (emboîtement des niveaux de visualisation, complétude du territoire...) et l'emprise horizontale et verticale (la stratigraphie des entités hydrogéologiques) des couches géographiques.

A la suite de cette opération, une analyse de cohérence est menée par le SANDRE afin de valider le référentiel et de permettre sa diffusion

L'évolution du référentiel

Après une phase de construction de 10 ans, la nouvelle version 1 de la BDLISA est le fruit d'une consolidation de trois ans basée en partie sur le recueil des retours d'expériences des utilisateurs. Un outil web collaboratif, nommé « Forge BDLISA » (<https://forge.eaufrance.fr/BDLISA/>) a été mis en place en 2014 afin de centraliser les remarques et corrections proposées par les utilisateurs. La version 1 intègre également les réflexions menées par des groupes de travail nationaux (Ministère en charge de l'écologie, Agences de l'eau, ONEMA, BRGM, DREAL de bassin...) sur les alluvions productives et les entités karstiques :

- Le référencement des entités karstiques se trouve désormais dans une couche SIG indépendante ;
- Les formations alluviales aquifères ont été définies en tant qu'entités principales.

L'accès et la diffusion du référentiel

La BDLISA se présente sous la forme de plusieurs couches géographiques accessibles dans un système d'information géographique. Le système de projection pour la métropole est le Lambert 93 (RGF93) et des systèmes de projections régionaux sont utilisés pour les régions d'Outre-Mer. Concrètement, les couches permettent :

- de visualiser les entités hydrogéologiques aux trois niveaux de détail retenus pour le délimitation ;
- de visualiser l'extension géographique des entités hydrogéologiques aux différents niveaux d'observation ;
- d'obtenir des informations sur les entités grâce à la base de données associée.

La BDLISA est mise librement à la disposition du public. N'importe quel utilisateur peut visualiser, traiter et échanger facilement les informations attributaires d'une ou plusieurs entités hydrogéologiques. Elle est téléchargeable sur www.sandre.eaufrance.fr sous différents formats : shapefiles (QGis, ArcGIS®), géodatabase (ArcGIS®) et format natif TAB ou MIF/MID (MapInfo®). La BDLISA est également accessible à travers des services-web cartographiques qui permettent de visualiser les entités hydrogéologiques sur un SIG ou sur une application web (par exemple les SIGES). Le détail de ces services est consultable sur <http://www.reseau.eaufrance.fr/geotraitements/> (rubrique « Les services de valorisation »).

La documentation du référentiel

Lors de sa diffusion, la BDLISA est assortie de plusieurs documents pour décrire l'organisation du référentiel. Ce travail est réalisé par l'organisme responsable de la diffusion de la BDLISA, le SANDRE. Deux documents normatifs accompagnent la sortie d'une nouvelle version de la BDLISA, le scénario d'échange et le dictionnaire de données associé :

- En s'appuyant sur les formats d'échanges du SANDRE, le **scénario d'échange** est un document qui détaille la sémantique échangée, décrit les données échangées (obligatoires et facultatives), la syntaxe du ou des fichiers d'échanges et les modalités techniques et organisationnelles de l'échange. Il fournit ainsi l'ensemble des informations utiles pour exploiter la BDLISA.
- Le **dictionnaire des données** est le recueil des définitions qui décrivent et précisent la terminologie et les données disponibles pour un domaine en particulier. Plusieurs aspects de la donnée y sont traités (sa signification, les règles indispensables à sa rédaction ou à sa codification, la liste des valeurs qu'elle peut prendre, la ou les personnes ou organismes qui ont le droit de la créer, de la consulter, de la modifier ou de la supprimer). Au référentiel BDLISA est donc associé un dictionnaire des données disponible à cette [adresse](#)³ (format pdf) ou cette [adresse](#)⁴ (pages html).

³ http://sandre.eaufrance.fr/ftp/documents/fr/ddd/saq/2.0/sandre_dictionnaire_SAQ_2.pdf

⁴ <http://www.sandre.eaufrance.fr/urn.php?urn=urn:sandre:dictionnaire:SAQ:FRA::ressource:2.0::html>

L'utilisation du référentiel

En fournissant un cadre scientifique dans les contours et les caractéristiques des entités hydrogéologiques, la BDLISA apporte une source d'informations adaptées aux projets d'appui aux politiques publiques sur l'eau. Par exemple, le référentiel est exploité dans le cadre de Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux pour améliorer la délimitation des nappes à réserver à l'alimentation en eau potable. Le référentiel fournit également un cadre hydrogéologique pertinent pour la délimitation des Masses d'Eau Souterraine (MESO), les unités de gestion sur lesquelles s'appliquent toutes les dispositions de la Directive Cadre sur l'Eau.

La base de données constitue aussi une source d'information pour les bureaux d'études et les organismes scientifiques tels que le CNRS et les universités. En tant que référentiel, il est généralement utilisé pour décrire le contexte hydrogéologique d'une zone d'étude.

En revanche, le degré de précision du référentiel n'est pas approprié pour exploiter le référentiel dans le cadre d'études locales à des échelles inférieures au 1/50 000. Les données du référentiel dans ce contexte sont à considérer avec précaution.

La BDLISA V1 en quelques chiffres

Au total, 2356 entités hydrogéologiques de niveau 3 sont délimitées et caractérisées à l'échelle du territoire métropolitain. Dans les DOM, les entités à cette échelle de visualisation sont au nombre de 39 pour la Martinique, 22 pour la Guadeloupe, 33 pour la Réunion et 43 pour la Guyane.

La France métropolitaine comporte 1940 entités hydrogéologiques de niveau 3 qualifiées d'aquifères. Parmi ces aquifères, 15% sont d'ampleur régionale et de bassin et leur répartition par rapport à leur superficie est la suivante :

- 995 inférieurs à 100 km² ;
- 654 entre 100-1000 km² ;
- 212 entre 1000-10 000 km² ;
- Et 79 supérieurs à 10 000 km² ;

Leur répartition en fonction du thème géologique est le suivant :

- Alluvial : 411 entités avec une surface moyenne de 80 km² ;
- Sédimentaire : 871 entités avec une surface moyenne de 3540 km² ;
- Socle : 405 entités avec une surface moyenne de 318 km² ;
- Intensément plissés de montagne : 242 entités avec une surface moyenne de 77 km² ;
- Volcanisme : 11 entités avec une surface moyenne de 467 km² ;

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| 1. Introduction | 17 |
| 1.1. ORGANISATION GENERALE ET ACTEURS CONCERNES | 18 |
| 1.2. LA PHASE DE DEVELOPPEMENT METHODOLOGIQUE | 19 |
| 1.3. LA PHASE DE CONSTRUCTION DU REFERENTIEL..... | 19 |
| 1.3.1. Le projet National..... | 19 |
| 1.3.2. Le projet du bassin Rhône-Méditerranée Corse..... | 20 |
| 1.3.3. Documents de référence des travaux menés par région et départements | 21 |
| 1.4. LA PHASE DE CONSOLIDATION | 22 |
| 1.5. PLAN DU RAPPORT | 22 |
| 2. Eléments fondateurs de la BDLISA..... | 23 |
| 2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION | 23 |
| 2.1.1. La notion d'entité hydrogéologique | 23 |
| 2.1.2. Les différents types d'entités hydrogéologiques..... | 23 |
| 2.1.3. Les différents niveaux de visualisation | 24 |
| 2.1.4. La gestion de la stratigraphie des entités hydrogéologiques | 26 |
| 2.1.5. La complétude, la filiation et l'héritage | 27 |
| 2.1.6. L'échelle de construction des entités hydrogéologiques..... | 28 |
| 2.2. PRINCIPE DE CARACTERISATION | 28 |
| 2.2.1. Codification et libellé des entités hydrogéologiques | 28 |
| 2.2.2. Les « thèmes » des entités hydrogéologiques | 29 |
| 2.2.3. L'attribut « nature » des entités hydrogéologiques | 30 |
| 2.2.4. L'attribut « type de milieu » des entités hydrogéologiques | 33 |
| 2.2.5. L'attribut « état » des entités hydrogéologiques | 34 |
| 2.2.6. L'attribut « origine de la construction » des entités hydrogéologiques | 34 |
| 2.2.7. La caractérisation des limites entre les entités hydrogéologiques | 35 |
| 3. Méthode d'élaboration de la BDLISA..... | 37 |
| 3.1. LES ETAPES DE CONSTRUCTION DE LA BDLISA..... | 37 |
| 3.2. LES DONNEES DE CONSTRUCTION | 38 |
| 3.3. ANALYSE DES DONNEES ET CONSTRUCTION DU TABLEAU MULTI-ECHELLES | |
| 39 | |
| 3.3.1. Identification et cadrage hydrogéologique général | 39 |
| 3.3.2. De l'analyse des cartes géologiques au tableau multi-échelles | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4. LA DELIMITATION DES ENTITES HYDROGEOLOGIQUES | 40 |
| 3.5. ASSEMBLAGE NATIONAL PAR BASSIN HYDROGRAPHIQUE | 41 |
| 4. Règles de délimitation des entités hydrogéologiques en fonction du thème géologique | 43 |
| 4.1. REGLES DE DELIMITATION DU THEME SEDIMENTAIRE | 43 |
| 4.1.1. Critères de délimitation généraux | 43 |
| 4.1.2. Pour aller plus loin | 44 |
| 4.2. REGLES DE DELIMITATION DU THEME SOCLE | 44 |
| 4.2.1. Délimitation au niveau national (NV1) | 45 |
| 4.2.2. Délimitation au niveau régional (NV2) | 45 |
| 4.2.3. Délimitation au niveau local (NV3) | 45 |
| 4.2.4. Démarche de délimitation dans le référentiel BDLISA | 46 |
| 4.2.5. Les rapports régionaux en lien avec le socle | 46 |
| 4.3. REGLES DE DELIMITATION DES FORMATIONS VOLCANIQUES | 47 |
| 4.3.1. Délimitation au niveau national (NV1) | 47 |
| 4.3.2. Délimitation au niveau régional (NV2) | 48 |
| 4.3.3. Délimitation au niveau local (NV3) | 48 |
| 4.3.4. Les rapports régionaux en lien avec les zones de volcanisme | 48 |
| 4.4. REGLES DE DELIMITATION DES FORMATIONS DU THEME INTENSEMENT PLISSE 48 | 48 |
| 4.4.1. Délimitation au niveau national (NV1) | 49 |
| 4.4.2. Délimitation au niveau régional (NV2) | 49 |
| 4.4.3. Délimitation au niveau local (NV3) | 49 |
| 4.4.4. Les rapports régionaux en lien au thème géologique de l'intensément plissé 50 | 49 |
| 4.5. REGLES DE DELIMITATION DES FORMATIONS DU THEME ALLUVIAL | 50 |
| 5. Validation, diffusion et évolution du référentiel | 51 |
| 5.1. VALIDATION DE LA BASE DE DONNEES | 52 |
| 5.2. EVOLUTION ET TRAÇABILITE | 52 |
| 5.2.1. Les corrections d'anomalies | 52 |
| 5.2.2. Les propositions d'amélioration | 54 |
| 5.3. DIFFUSION ET MISE A DISPOSITION DE LA BDLISA | 54 |
| 5.3.1. La création de fichiers compressés pour le téléchargement | 55 |
| 5.3.2. Mise à disposition des services-web cartographiques | 55 |
| 5.4. LA DOCUMENTATION DU PROJET BDLISA | 59 |
| 5.4.1. Les documents du SANDRE | 59 |

| | |
|---|-----------|
| 5.4.2. Les métadonnées | 60 |
| 6. Synthèse sur les évolutions apportées par la version 1..... | 61 |
| 6.1.1. Evolution quantitative du référentiel | 61 |
| 6.1.2. Analyse des corrections et modifications apportées à la BDLISA..... | 63 |
| 6.1.3. La surcouche karst et les alluvions productives | 64 |
| 6.1.4. Mise en place d'une table répertoriant les évolutions par entité | 65 |
| 7. Exemple d'applications et d'usages de la BDLISA | 67 |
| 7.1. DES APPLICATIONS EN APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES SUR L'EAU | 67 |
| 7.1.1. Les rapports d'expertise..... | 67 |
| 7.1.2. Vulnérabilité et risque vis-à-vis des eaux souterraines..... | 67 |
| 7.1.3. Une aide dans les objectifs fixés par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE)..... | 69 |
| 7.1.4. La prospection géothermique..... | 69 |
| 7.2. UNE SOURCE D'INFORMATION A DESTINATION DE L'ENSEMBLE DES PROFESSIONNELS DU SECTEUR DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT . | 70 |
| 7.3. INFORMER, SENSIBILISER, AIDER..... | 71 |
| 7.3.1. De la diffusion aux outils d'aide à la décision | 71 |
| 7.3.2. Nouvelle carte hydrogéologique de la France au million | 72 |
| 8. Conclusion et perspectives | 75 |
| 9. Références bibliographiques | 77 |
| 9.1. RAPPORTS DE LA PHASE METHODOLOGIQUE ET DE LA CONSTRUCTION NATIONALE (PAR ORDRE CHRONOLOGIQUE) | 79 |
| 9.2. LISTE DES RAPPORTS REGIONAUX (PAR ORDRE CHRONOLOGIQUE) ... | 79 |
| 9.2.1. Artois-Picardie | 79 |
| 9.2.2. Rhin-Meuse | 79 |
| 9.2.3. Seine-Normandie..... | 80 |
| 9.2.4. Loire-Bretagne | 81 |
| 9.2.5. Adour-Garonne | 82 |
| 9.2.6. Rhône-Méditerranée-Corse | 83 |
| 9.2.7. DROM..... | 84 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 – Schéma de la chaîne de traitement global pour l'élaboration puis la consolidation de la BDLISA. Le groupe de travail national est représenté par le Ministère en charge de l'écologie, l'ONEMA, les agences de l'eau, les DREAL et le BRGM..... | 18 |
| Figure 2 – Structuration du référentiel. La BDLISA est composée (i) d'entités principales représentées sous trois niveaux de visualisation, (ii) d'entités complémentaires, (iii) d'une surcouche des formations karstiques et (iv) d'une couche caractérisant les limites des entités à l'affleurement..... | 24 |
| Figure 3 – Emboîtement des trois niveaux de représentation de la BDLISA – exemple du Grand système aquifère multicouche Plio-Quaternaire des landes de Gascogne et du Lannemezan. a) niveau 1, b) niveau 2 et c) niveau 3..... | 25 |
| Figure 4 – Principe de construction d'une entité NV2 (en pointillé) à partir d'entités NV3. a) Union totale et b) Union partielle..... | 26 |
| Figure 5 – Schématisation de la succession verticale des entités hydrogéologiques. a) Ordre absolu et b) ordre relatif..... | 27 |
| Figure 6 – Représentation pas « thème » des entités affleurantes de niveau 1..... | 30 |
| Figure 7 – Nature des entités hydrogéologiques en fonction du niveau de visualisation. Les flèches indiquent les liaisons possibles entre les niveaux de visualisation. Les relations en pointillés représentent des situations possibles mais minoritaires..... | 31 |
| Figure 8 – Représentation par « nature » des entités affleurantes de niveau 1..... | 31 |
| Figure 9 – Caractérisation de la nature des limites des entités hydrogéologiques à l'affleurement au niveau 3. a) Nature des entités hydrogéologiques à l'affleurement au niveau 3 et b) Caractéristiques des limites entre ces mêmes unités..... | 36 |
| Figure 10 – Les principales étapes de construction de la BDLISA (encadrés bleus)..... | 38 |
| Figure 11 – Tableau multi-échelles et sa déclinaison cartographique. Exemple de l'entité 167 « Socle du Massif Armoricaïn dans le bassin versant de la Douve de sa source à l'embouchure. Les entités affichées sont à l'affleurement..... | 40 |
| Figure 12 – Principales étapes de l'assemblage final des entités hydrogéologiques..... | 42 |
| Figure 13 – Diagramme de collaboration entre les acteurs du projet BDLISA pour la validation et la diffusion de chaque version du référentiel BDLISA..... | 51 |
| Figure 14 – Organigramme de gouvernance d'une demande sur la forge BDLISA..... | 54 |
| Figure 15 – Sortie d'écran d'une fiche de synthèse pdf..... | 56 |
| Figure 16 – Exemple d'un log des entités hydrogéologiques interrogé sur le site Géotraitement. L'application est interactive, les propriétés des entités hydrogéologiques sont consultables sur la même page..... | 57 |
| Figure 17 – Nombre d'entités hydrogéologiques par niveau de visualisation entre les versions 0 et 1 de la BDLISA en France métropolitaine..... | 62 |
| Figure 18 – Nombre d'entités hydrogéologiques par niveau de visualisation et thème géologique entre les versions 0 et 1 de la BDLISA dans les régions d'outre-mer..... | 62 |
| Figure 19 – Type de modification apportée sur les entités de niveau 3 pour les différents bassins hydrographiques de la France métropolitaine. Le diagramme du haut présente le nombre d'entités et le diagramme du bas affiche les proportions de chaque type de modification..... | 64 |
| Figure 20 – Cartographie des nouveautés apportées par la version 1 de la BDLISA. a) surcouche karst et b) Alluvions productives au niveau 3..... | 65 |

| | |
|--|----|
| Figure 21 – Contour de la nappe à réserver à l'alimentation en eau potable (en rose) dans un secteur du SDAGE du bassin Loire-Bretagne, d'après Salquèbre (2013) | 68 |
| Figure 22 – Carte de vulnérabilité générale des aquifères côtiers vis-à-vis de l'intrusion marine pour la côte méditerranéenne, d'après Dörfliger et al., 2011..... | 69 |
| Figure 23 – Exemple d'une fiche hydrogéologique inspirée du travail de la BDLISA au Québec, d'après Cerm-paces (2015) | 71 |
| Figure 24 – Nouvelle carte hydrogéologique de la France au 1/1 000 000. La carte est construite avec les entités hydrogéologiques de la BDLISA V0. | 73 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 – Liste des rapports des constructions régionales de la BDLISA | 21 |
| Tableau 2 – Définition de la nature des entités hydrogéologiques | 32 |
| Tableau 3 – Définition des types de milieu dans la BDLISA | 33 |
| Tableau 4 – Origines de construction des entités hydrogéologiques | 34 |
| Tableau 5 – Ensemble des combinaisons possibles pour caractériser la nature des limites des entités hydrogéologiques | 35 |
| Tableau 6 – Principales données utilisées pour construire la BDLISA | 38 |
| Tableau 7 – Principaux rapports en lien avec le thème géologique sédimentaire..... | 44 |
| Tableau 8 – Liste des rapports de construction de la BDLISA dans les régions de socle..... | 46 |
| Tableau 9 – Liste des rapports de construction de la BDLISA dans les zones de volcanisme .. | 48 |
| Tableau 10 – Liste des rapports de construction de la BDLISA dans les zones intensément plissées | 50 |
| Tableau 11 – Critères de délimitation des alluvions selon les niveaux de visualisation | 50 |
| Tableau 12 – Principaux contrôles réalisés avant la diffusion de la BDLISA par le SANDRE ... | 52 |
| Tableau 13 – Nom et description des champs utilisés pour décrire une demande sur la Forge | 53 |
| Tableau 14 – Proportion des différents types de modifications apportées aux entités hydrogéologiques. Selon la table généalogie de la BDLISA V1..... | 63 |
| Tableau 15 – Description des champs de la table généalogie..... | 65 |

1. Introduction

La gestion des eaux souterraines répond à des enjeux économiques, sociétaux et environnementaux. Cela implique une bonne connaissance du sous-sol et de ses propriétés physiques pour évaluer l'état des eaux et orienter les actions à mener pour les préserver. C'est dans cet objectif qu'a été forgé le référentiel hydrogéologique français BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères).

La construction du référentiel hydrogéologique français s'est faite en plusieurs phases, à mesure que les exigences de la réglementation européenne et française et que les efforts de surveillance se sont accentués mais également en fonction de l'amélioration des connaissances :

- La carte « Margat » : la première carte hydrogéologique est finalisée en 1976. Elle propose un découpage de la France métropolitaine en systèmes aquifères et domaines hydrogéologiques sur une échelle au 1/1 500 000.
- En 1996, la carte « Margat » est étendue et les contours affinés à l'échelle du territoire national, ce qui donnera naissance, en 2002, à la « Base de Données du Référentiel Hydrogéologique Français Version 1 » ou BDRHF V1. Cette base sera exploitée pendant plus d'une décennie.
- Une refonte méthodologique est proposée en 2003 par un groupe de travail national (Petit *et al.* 2003). Après 10 années de développement, une première version beta de la « Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères » ou BDLISA, qui succède à la BDRHF V1, voit le jour fin 2012, rapidement suivie par la version 0 en 2013. Plus précis dans ses contours, la construction du référentiel est homogène et présente des nouveautés majeures, comme la prise en compte des couches géologiques en profondeur ou la délimitation des entités selon trois échelles d'observation (nationale, régionale ou locale).

Aujourd'hui, cette étape de construction laisse la place à des phases itératives régulières où le référentiel BDLISA est corrigé et amélioré grâce aux avancées scientifiques et techniques. La nouvelle version 1 de la BDLISA, publiée en août 2015, s'inscrit dans cette dynamique.

Les modes de diffusion ont également évolué pour répondre au cadre réglementaire de la directive INSPIRE⁵ et aux attentes des gestionnaires et des bureaux d'études. Autrefois accessible en CD-ROM, DVD puis en téléchargement, la BDLISA est aujourd'hui accessible à travers un ensemble d'outils cartographiques mis en ligne sur Internet. Ce mode de diffusion contribue au partage de la connaissance et au développement d'applications variées de la BDLISA. La BDLISA est utilisée en appui aux politiques publiques sur l'eau, dans les travaux scientifiques et techniques et dans la mise en place d'outils pour informer et sensibiliser un large public aux eaux souterraines.

La BDLISA est à la croisée de nombreuses disciplines, tout aussi bien thématique (hydrogéologie et géologie) qu'informatique (gestion de bases de données, création d'applications web).

⁵ Infrastructure for Spatial Information in Europe : directive européenne qui impose aux autorités publiques de publier sur Internet leurs données environnementales géographiques (plus d'informations http://cnig.gouv.fr/?page_id=1177)

1.1. ORGANISATION GENERALE ET ACTEURS CONCERNES

L'élaboration de la BDLISA aborde de nombreuses étapes présentée Figure 1. Après une phase de construction ayant duré 10 ans (développement méthodologique, construction régionale et consolidation nationale), le référentiel aborde désormais une phase de consolidation continue et de mise à jour régulière. De la méthodologie aux moyens mis en œuvre pour sa diffusion, la BDLISA rassemble de nombreux acteurs.

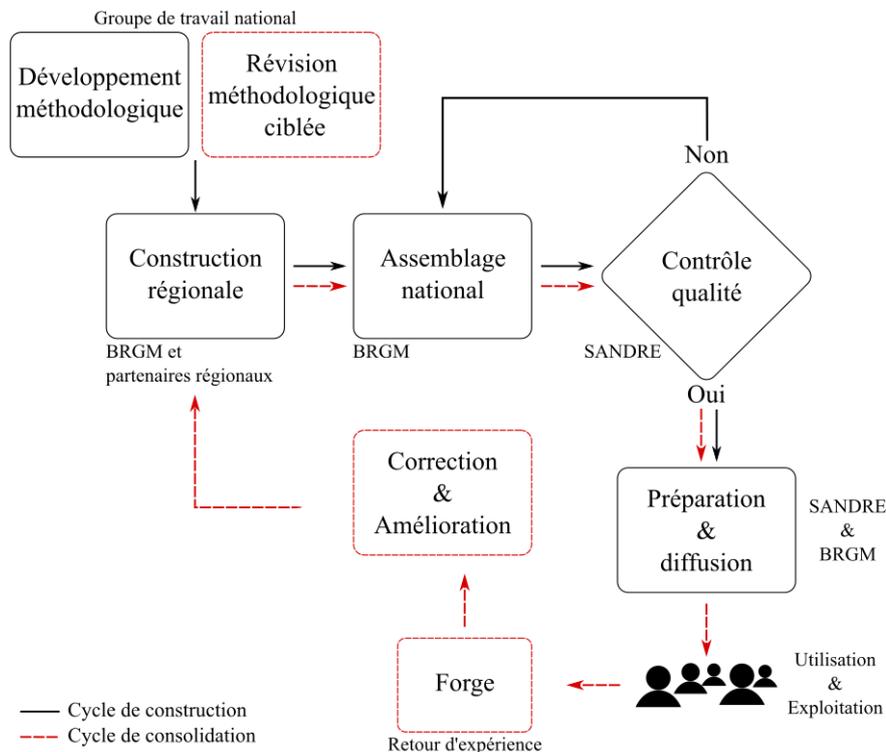


Figure 1 – Schéma de la chaîne de traitement global pour l'élaboration puis la consolidation de la BDLISA. Le groupe de travail national est représenté par le Ministère en charge de l'écologie, l'ONEMA, les agences de l'eau, les DREAL et le BRGM.

Depuis 2003, le projet BDLISA est porté par le Ministère en charge de l'écologie et son élaboration est confiée au BRGM. Le soutien financier et scientifique provient de ce ministère, de l'Office National de l'Eau et de Milieux Aquatiques (ONEMA), des agences de l'eau et du BRGM. La Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) du MEDDE assure quant à elle le secrétariat du comité de pilotage national, en collaboration avec les autres partenaires.

La spécification et la construction du référentiel ont été assurées par le centre scientifique et technique du BRGM, appuyé par ses directions régionales et en étroite collaboration avec les agences et offices de l'eau, les services déconcentrés de l'Etat (DREAL - DRIEE pour l'Île-de-France, DEAL pour les DROM), les collectivités territoriales, les organismes de recherche et les bureaux d'études. Ces mêmes acteurs sont désormais tous intégrés dans le processus de consolidation du référentiel, en analysant, validant et traitant les demandes de correction.

Les travaux d'assemblage et d'harmonisation du référentiel à l'échelle nationale sont réalisés au sein de la Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies (D3E) du BRGM.

Le SANDRE (Service d'Administration Nationale des Données et des Référentiels sur l'Eau) assure quant à lui la diffusion de ce référentiel. Durant la phase initiale de construction, il avait

en charge le pilotage du groupe de travail qui a permis l'élaboration du modèle de données et du dictionnaire de données de ce référentiel, en application du Schéma National des Données sur l'Eau (SNDE). Il est désormais le garant de la bonne conformité de chaque nouvelle version du référentiel vis-à-vis de ces documents fondateurs, en assurant un contrôle de cohérence des données livrées avant toute diffusion.

1.2. LA PHASE DE DEVELOPPEMENT METHODOLOGIQUE

Un premier travail de type méthodologique mené sur la période 2001-2003 a permis :

- de dresser une première liste d'entités hydrogéologiques à intégrer dans le référentiel. Ces entités ont été identifiées sur l'ensemble de la France à deux niveaux de représentation : un niveau national (grandes entités) et un niveau régional, subdivision des entités de niveau national ;
- de réaliser une première délimitation cartographique, indicatif, des entités identifiées ;
- de mettre au point une méthodologie de délimitation sur la base de six tests réalisés sur le territoire de chacune des agences de l'eau ; de définir, en collaboration avec le SANDRE, un modèle conceptuel de données pour l'élaboration de la base de données du référentiel.
- Ces principaux rapports sont listés dans la section 9.1 du chapitre sur les références bibliographiques.

1.3. LA PHASE DE CONSTRUCTION DU REFERENTIEL

La construction du référentiel s'est ensuite déroulée en plusieurs phases dans le cadre de deux projets distincts, aux objectifs différents, mais convergeant vers la même finalité, l'élaboration du référentiel national :

- un projet « bassin », propre au bassin Rhône-Méditerranée Corse, avec comme objectif la réalisation d'une synthèse hydrogéologique du bassin ;
- un « projet national » (qualifié ainsi par simplification d'écriture et ainsi désigné par la suite), concernant les cinq autres bassins et les DROM, avec des objectifs plus restreints que la synthèse en terme de caractérisation des entités hydrogéologiques et de livrables.

Le référentiel national a été construit en harmonisant les découpages issus de ces deux projets. Ces travaux d'assemblage et d'harmonisation du référentiel à l'échelle nationale sont réalisés par l'équipe projet BDLISA au sein de l'unité Evaluation, Valorisation des connaissances sur l'Eau (EVE) de la Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies (D3E) du BRGM.

1.3.1. Le projet National

À partir de 2006, trois ans après la fin de la phase méthodologique (interruption nécessitée par l'élaboration du référentiel cartographique élémentaire de la Directive Cadre sur l'Eau), la construction proprement dite de BDLISA a été réalisée par étapes sur cinq bassins et dans les DROM. Elle a été confiée au BRGM par le Ministère en charge de l'Écologie avec un soutien financier des Agences de l'Eau, du Ministère (2006 et 2007), puis de l'ONEMA (de 2008 à 2011) ; cette mission est, depuis, confirmée par le SNDE (Schéma National des Données sur l'Eau).

La délimitation des entités a été réalisée région par région entre 2006 et 2009, chaque opération régionale se concluant par la remise :

- d'un « rapport d'étape » décrivant le travail réalisé. La liste de ces rapports figure dans les références bibliographiques ;
- d'une géodatabase au format ArcGis® permettant de visualiser les entités et d'effectuer des requêtes.

Au long de ces quatre années, l'avancement du travail a été régulièrement présenté au comité de pilotage national et des réunions de restitution du travail ont eu lieu à l'échelle régionale et des bassins en présence d'acteurs locaux.

1.3.2. Le projet du bassin Rhône-Méditerranée Corse

Dans ce projet, l'objectif de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse était d'actualiser une synthèse hydrogéologique réalisée dans les années 1980 en exploitant toutes les connaissances acquises depuis.

Après une phase méthodologique décrite dans les rapports d'étapes suivant :

- Actualisation des synthèses hydrogéologiques régionales sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse. Présentation de la base de données informatique (version 2002). – 2002 - Rapport BRGM/RP-51822-FR ;
- Actualisation des synthèses hydrogéologiques régionales sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse. Guide méthodologique du découpage et présentation de la maquette-catalogue - 2002 - Rapport BRGM/[RP-51821-FR](#) ;
- Mais également dans les différents rapports d'état d'avancement ([RP-50956-FR](#), [RP-50540-FR](#), [RP-51908-FR](#), [RP-50743-FR](#) et [RP-50957-FR](#)).

Une première étape de l'actualisation a été menée en Languedoc-Roussillon et s'est achevée en 2004. Les régions Bourgogne, Franche-Comté et Rhône-Alpes ont succédé à cette première étape en 2006, puis la région Provence-Alpes-Côte d'Azur en 2010 et la région Languedoc-Roussillon pour une actualisation du travail de 2004. En région Corse, la délimitation a été réalisée en 2011.

Ces travaux régionaux ont abouti à la création d'un atlas hydrogéologique des régions Bourgogne, Franche-Comté et Rhône-Alpes, de la région Languedoc-Roussillon, de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et de la Corse. Un DVD par région présente la synthèse avec une fiche descriptive associée à chaque entité.

1.3.3. Documents de référence des travaux menés par région et départements

Le lecteur intéressé par le détail de la construction régionale peut consulter les rapports par région. La liste des rapports et les liens d'accès sur internet sont centralisés dans le tableau 1.

Tableau 1 – Liste des rapports des constructions régionales de la BDLISA

| Zones de découpage | Rapports |
|----------------------------|---|
| Alsace | RP-62217-FR |
| Aquitaine | RP-62235-FR , RP-62236-FR |
| Auvergne | RP-62229-FR |
| Haute et Basse-Normandie | RP-61826-FR , RP-62223-FR |
| Bourgogne | RP-57091-FR , RP-62225-FR |
| Bretagne | RP-62227-FR |
| Champagne-Ardenne | RP-62216-FR , RP-62224-FR |
| Centre | RP-62231-FR |
| Corse | RP-59924-FR |
| Franche-Comté | RP-57091-FR |
| Guadeloupe | RP-62237-FR |
| Guyane | RP-62239-FR |
| Ile de France | RP-62218-FR |
| Languedoc-Roussillon | RP-60305-FR |
| Limousin | RP-62230-FR |
| Loire | RP-62228-FR |
| Lorraine | RP-62216-FR |
| Lozère | RP-62234-FR , |
| Martinique | RP-62238-FR |
| Midi-Pyrénées | RP-56952-FR , RP-62243-FR , RP-62236-FR |
| Nord-Pas-De-Calais | RP-62207-FR |
| Pays De La Loire | RP-56954-FR , RP-62227-FR , RP-62226-FR |
| Poitou-Charentes | RP-62232-FR |
| Picardie | RP-62207-FR , RP-62220-FR |
| Provence-Alpes-Côte D'azur | RP-61846-FR |
| Réunion | RP-63052-FR |
| Rhône-Alpes | RP-57091-FR |

1.4. LA PHASE DE CONSOLIDATION

Aujourd'hui, cette étape de construction laisse place à des phases itératives biannuelles où le référentiel est corrigé et amélioré grâce aux avancées scientifiques et techniques sur la connaissance du sous-sol. La nouvelle version 1 de la BDLISA s'inscrit dans cette dynamique. Cette phase de consolidation se base sur :

- le recueil des anomalies et de corrections proposées par les utilisateurs de la BDLISA et validées par les hydrogéologues de région ;
- les propositions d'amélioration réfléchies et concertées lors de « journées techniques BDLISA ».

1.5. PLAN DU RAPPORT

Ce rapport est constitué de six parties. La partie 2 s'attache à présenter les principes fondateurs caractérisant la BDLISA et la partie 3 développe dans le détail les différentes étapes de construction de ce référentiel. La partie 4 est consacrée aux critères utilisés pour découper les entités hydrogéologiques. La phase de validation, les aspects de diffusion et d'évolution et la documentation du référentiel sont abordés dans le chapitre 5 du rapport. La partie 6 expose les nouveautés apportées à la nouvelle version de la BDLISA.

Enfin, le chapitre 7 est consacré aux différentes applications qui ont été faites de ce référentiel à ce jour.

2. Eléments fondateurs de la BDLISA

La construction du référentiel BDLISA repose sur les principes de base énoncés dans le guide méthodologique établi en 2003 ([RP-52261-FR](#)). Celui-ci décrit une méthode homogène et applicable sur tout le territoire pour identifier et représenter des entités hydrogéologiques.

Ce chapitre expose ces éléments fondateurs en présentant le concept d'entité hydrogéologique et en développant les principes de construction et de caractérisation de ces objets hydrogéologiques.

2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION

La BDLISA est un référentiel géographique qui propose un découpage du territoire national en entités hydrogéologiques délimitées suivant des niveaux de détails et regroupées au sein de différents thèmes géologiques. La construction et l'organisation de ces entités s'appuient sur des principes de construction détaillés dans les paragraphes suivants. Ces principes constituent l'ossature du référentiel :

- l'organisation des entités hydrogéologiques ;
- la gestion des différents niveaux de visualisation ;
- l'ordonnancement vertical des entités ;
- la complétude ;
- la filiation et l'héritage.

2.1.1. La notion d'entité hydrogéologique

L'entité hydrogéologique est la composante structurante du référentiel BDLISA. Elle correspond à un espace géologique caractérisé à l'égard de son état et de son comportement hydrogéologique. Cet espace peut être **aquifère ou non aquifère** et il se caractérise par une surface et une aire d'extension reconnue ou interprétée (selon l'état de la connaissance).

L'entité hydrogéologique, une fois constituée, est caractérisée à travers des attributs hydrogéologiques décrits dans le détail dans le paragraphe 2.2.

2.1.2. Les différents types d'entités hydrogéologiques

Le référentiel se compose de trois types d'entités hydrogéologiques et d'une caractérisation des limites entre les entités hydrogéologiques. Cette organisation est présentée de façon schématique dans la figure 2 :

- **Les entités principales** : ce sont les entités qui respectent les règles de cohérence et d'homogénéité du référentiel (cf. chapitres 2.1.2 à 2.1.5). Elles sont représentées par un ou plusieurs polygones (certaines entités peuvent être disjointes) et leur niveau dans les différentes couches géologiques (niveau stratigraphique) est également pris en compte. En revanche, la profondeur et l'épaisseur des couches ne sont pas représentées.
- **Les entités complémentaires** : Contrairement aux précédentes, ces entités ne respectent pas forcément les règles de cohérence et d'homogénéité du référentiel. A titre

d'exemple, il peut s'agir d'alluvions non réservoirs ou encore de formations superficielles, hétérogènes et morcelées (limons, loess, altérites de socle).

- **Les entités de la surcouche Karst** : l'ensemble des entités hydrogéologiques ayant un type de milieu karstique ou en partie karstique est représenté dans une couche complémentaire indépendante appelée « couche karstique ». Cette couche facilite la représentation de ces éléments à l'échelle de la France.
- **Les limites des entités à l'affleurement** : les limites latérales entre les entités hydrogéologiques de niveau 3 à l'affleurement sont représentées dans une couche géographique. Ces limites sont caractérisées par un attribut associé aux contours qui composent les entités hydrogéologiques. Les limites entre les entités (polylignes) sont extraites automatiquement lors de l'assemblage de la BDLISA (cf. § 3.5). La caractérisation de ces limites est décrite dans le paragraphe 2.2.7.

Remarque : ce rapport s'attache à décrire les entités principales de la BDLISA. Les entités complémentaires, objets de moindre importance et ne respectant pas certains des principes fondateurs de la BDLISA, ne sont que très sommairement décrites.

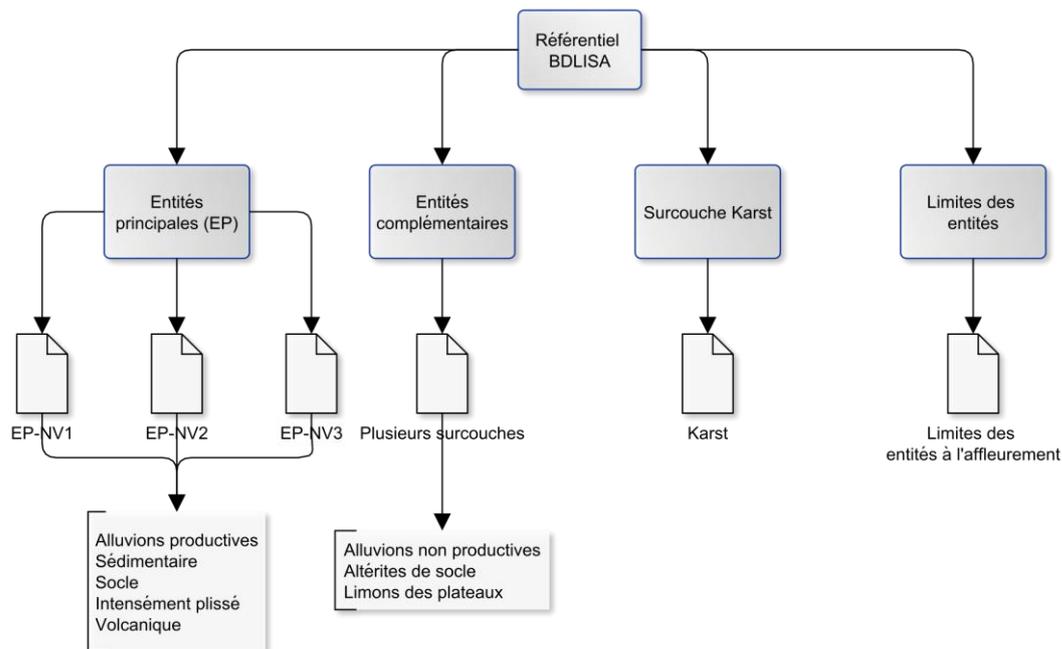


Figure 2 – Structuration du référentiel. La BDLISA est composée (i) d'entités principales représentées sous trois niveaux de visualisation, (ii) d'entités complémentaires, (iii) d'une surcouche des formations karstiques et (iv) d'une couche caractérisant les limites des entités à l'affleurement.

Initialement, la méthodologie de 2003 ne comportait aucune mention des entités complémentaires. Durant la phase d'élaboration du référentiel, des contextes hydrogéologiques particuliers et des contraintes opératoires ont donc conduit à adapter le modèle de représentation des entités présenté dans le guide méthodologique de 2003.

2.1.3. Les différents niveaux de visualisation

La BDLISA propose trois niveaux de visualisation pour répondre à différents objectifs de travail. Ces niveaux d'utilisation reflètent les besoins très différents des futurs utilisateurs du référentiel.

Ils ne définissent pas les échelles de numérisation (précision du contour – cf. § 2.1.6) mais correspondent à des échelles d'utilisation et de représentation de l'information :

- le **niveau national (NV1)** fournit une représentation nationale des grands ensembles hydrogéologiques dont il montre la distribution spatiale et l'importance en tant que ressource quantitative. C'est le support d'études d'orientation à l'échelle nationale. La gamme d'échelle d'utilisation cartographique est comprise entre le 1/500 000 et le 1/1 000 000 ;
- le **niveau régional (NV2)** propose une représentation régionale ou par bassin des entités hydrogéologiques (échelle de visualisation de l'ordre du 1/250 000). Il permet de caractériser les systèmes aquifères au regard de leur importance en tant que ressource régionale, de leur vulnérabilité (à la sécheresse, aux pollutions...);
- le **niveau local (NV3)** correspond à la représentation la plus détaillée du référentiel, à une échelle de l'ordre du 1/50 000. Il identifie l'ensemble des entités connues au sein des deux niveaux précédents. Il constitue le support d'études locales permettant d'améliorer les connaissances hydrogéologiques (carte piézométrique, carte de vulnérabilité, modélisation...).

Les entités du niveau 1 résultent de l'assemblage de celles du niveau 2, ces dernières résultant elles-mêmes d'un regroupement des entités du niveau 3. Cet assemblage est réalisé à partir du niveau 3 lors de la construction finale du référentiel.

Un exemple d'emboîtement des trois niveaux de représentation de la BDLISA est présenté dans la figure 3.

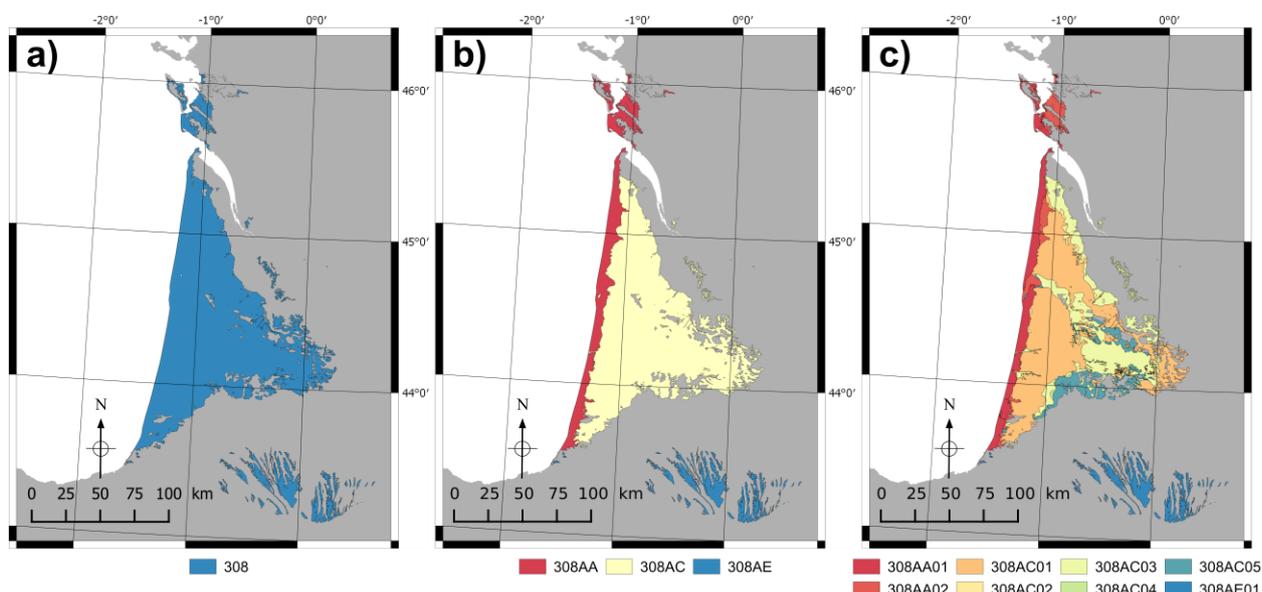


Figure 3 – Emboîtement des trois niveaux de représentation de la BDLISA – exemple du Grand système aquifère multicouche Plio-Quaternaire des landes de Gascogne et du Lannemezan. a) niveau 1, b) niveau 2 et c) niveau 3

La figure 4 illustre le principe de construction d'une entité NV2 à partir de plusieurs entités NV3. Deux situations sont envisageables :

- **union totale** : l'ensemble des entités de niveau 3 composent l'entité de NV2. Cette dernière est constituée de l'union des entités niveau 3 ;

- **union partielle** : lorsque les entités de niveau 3 délimitées dans un niveau 2 ne permettent pas de reconstituer en totalité ce niveau 2 (car seules des entités d'intérêt ont été délimitées), le complément « NV2-ΣNV3 » est ajouté lors de la construction finale de la BDLISA. Ce cas de figure a été rencontré dans le bassin Rhône-Méditerranée Corse car les objectifs du projet de bassin (cf. chapitre 1.3.2) n'étaient pas totalement identiques à ceux du projet national, notamment en termes d'identification des entités hydrogéologiques. Dans le référentiel BDLISA, cette entité « virtuelle » est identifiée par l'intermédiaire de l'attribut « Origine » (complétude partielle ou totale, voir tableau 4, chapitre 2.2.6).

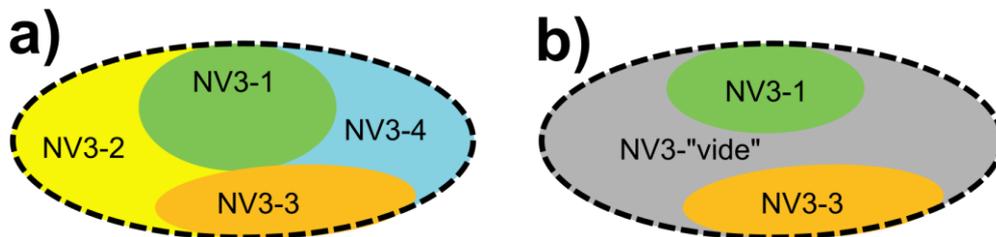


Figure 4 – Principe de construction d'une entité NV2 (en pointillé) à partir d'entités NV3. a) Union totale et b) Union partielle

2.1.4. La gestion de la stratigraphie des entités hydrogéologiques

Le référentiel BDLISA a la particularité de permettre une représentation des entités en « 2D ½ ». En effet, sur la verticale, les entités sont ordonnées suivant un ordre croissant (ordre 1 pour les entités affleurantes, ordre 2 pour les entités situées juste au-dessous...). Le numéro d'ordre qui est affecté aux entités permet de suivre la « progression » de chacune d'elles en profondeur et de les localiser en un point dans la « pile » des entités hydrogéologiques. Néanmoins, **aucune valeur d'épaisseur n'est implémentée dans le référentiel**. Le modèle de représentation de la BDLISA ne permet donc pas une représentation « 3D » *stricto sensu*.

Etant donné que le principe de construction des entités hydrogéologiques considère l'empilement des couches mais sans indication de valeurs de profondeur, la caractérisation verticale de ces entités s'appuie donc sur l'attribution d'un numéro d'ordre stratigraphique pour chacune d'entre elles. Celui-ci est d'abord attribué dans l'absolu, puis en relatif par rapport aux autres entités.

Dans la phase de construction du référentiel, un numéro d'ordre est affecté à chaque entité délimitée. Cet ordre est dit « absolu » et peut être assimilé à un âge stratigraphique. La délimitation des entités conduit à une « pile hydro-stratigraphique » d'entités qui sont ordonnées sur la verticale grâce au numéro d'ordre absolu (par exemple 10, 20, 30, 40, 50 dans la figure 5a).

Les ordres relatifs sont construits lors de la phase d'assemblage des entités hydrogéologiques (cf. § 2.1.5). A la fin de la construction, les entités sont ordonnées suivant un ordre croissant (ordre 1 pour les entités affleurantes, ordre 2 pour les entités situées juste au-dessous...). Le numéro d'ordre qui est affecté aux entités permet de suivre la « progression » de chacune d'elles en profondeur et de la localiser en un point dans la « pile » des entités hydrogéologiques (voir figure 5b). Ainsi, un ordre relatif 3 est attribué à une zone d'une entité lorsque, sur cette zone, l'entité en question est recouverte par deux autres entités, elles-mêmes superposées l'une sur l'autre.

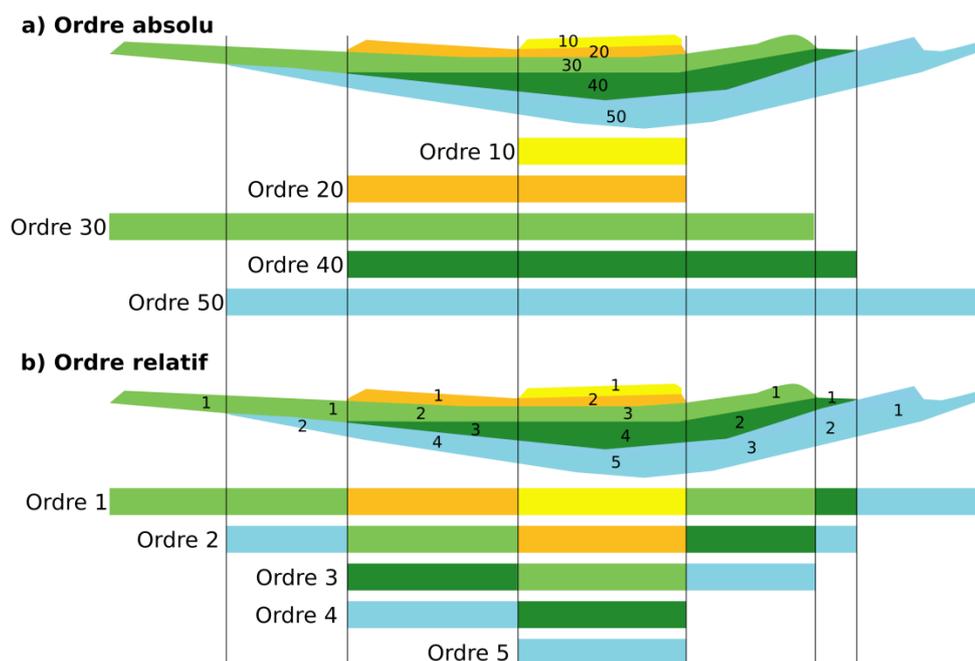


Figure 5 – Schématisation de la succession verticale des entités hydrogéologiques. a) Ordre absolu et b) ordre relatif.

Le numéro d'ordre relatif permet d'identifier les différents niveaux de recouvrement d'une entité donnée, entité qui sera par exemple constituée :

- d'un polygone d'ordre relatif 1, c'est-à-dire à l'affleurement ;
- d'un polygone d'ordre relatif 2, correspondant au recouvrement de l'entité par une autre entité E_j ;
- d'un polygone d'ordre relatif 3, correspondant au recouvrement de l'entité par une entité E_k , elle même sous une entité E_n ;
- etc...

2.1.5. La complétude, la filiation et l'héritage

En complément des principes de construction évoqués précédemment, l'élaboration de la BDLISA est également encadrée par les notions suivantes.

- **La complétude** : la couverture de l'espace est totale aux niveaux 1 et 2. Au niveau 3, la couverture n'est totale que dans le « projet national » ; dans le bassin Rhône-Méditerranée Corse, les entités de niveau 3 délimitées dans le cadre de la synthèse hydrogéologique correspondent uniquement aux aquifères.
- **La filiation** : une entité NV3 est rattachée à une entité NV2 qui l'inclut et qui est elle-même rattachée et incluse dans une entité NV1.
- **L'héritage** : ce point découle du point précédent. Elle retranscrit essentiellement l'héritage des limites des entités du niveau 3 vers le niveau 2, puis vers le niveau 1. Dans certains cas, l'héritage peut également concerner certaines propriétés hydrogéologiques. En effet, une entité de niveau 2 composée exclusivement d'entités de niveau 3 aquifères à nappe libre sera fort logiquement caractérisée comme aquifère à nappe libre.

2.1.6. L'échelle de construction des entités hydrogéologiques

La délimitation des entités est réalisée sur la base des connaissances géologiques et hydrogéologiques actuelles. Des mises à jour (nouvelles entités de niveau 3, modifications des contours) sont donc susceptibles d'être effectuées pour tenir compte de la progression des connaissances.

L'échelle de travail adoptée pour la délimitation des entités est le 1/50 000 (précision des contours des formations géologiques des cartes géologiques au 1/50 000), et ceci quel que soit le niveau de visualisation (NV1, NV2, NV3). Les contours des entités des niveaux 1 et 2 ont donc la même précision que ceux du niveau 3, à savoir le 1/50 000 : il n'y a pas de simplification des contours (lissage) d'un niveau à un autre.

De même, la méthode de délimitation des entités hydrogéologique est **homogène sur l'ensemble du territoire**. Pour chaque thème géologique, les critères de délimitation sont communs à l'ensemble des régions (les règles de délimitation par thème sont présentées dans le chapitre 3).

2.2. PRINCIPE DE CARACTERISATION

Les entités hydrogéologiques sont représentées par un ou plusieurs polygones décrits par quatre attributs d'ordre géologique et hydrogéologique :

- le « **thème** » décrit le type de formation géologique (cf. § 2.2.2.) ;
- les potentialités aquifères sont caractérisées par la « **nature** » (cf. § 2.2.3.) ;
- l'attribut « **milieu** » caractérise le type de porosité de l'entité (cf. § 2.2.4.) ;
- la présence ou non d'une nappe libre ou captive, ou bien libre puis captive est indiquée par « **état** » de l'entité hydrogéologique (§. 2.2.5).

Les arcs composant les polygones des entités hydrogéologiques correspondent aux limites d'extension des entités et sont caractérisés par un type de limite hydraulique (voir § 2.2.7). L'ensemble de ces caractéristiques est normé par le SANDRE, chacune de ces sections renvoie un lien hypertexte pour consulter les documents de référence.

2.2.1. Codification et libellé des entités hydrogéologiques

La codification des entités hydrogéologiques constitue un élément important pour gérer les données du référentiel. La création de cet attribut suit des règles simples, fondées sur le niveau de l'entité hydrogéologique. La dénomination des entités respecte également des principes pour assurer l'homogénéité du référentiel.

Codification de l'entité

Un code, attribué par le BRGM (arrêté du 26 juillet 2010, SNDE), est affecté à chaque entité. Il est construit avec :

- un champ de trois chiffres pour une entité de niveau national ;
- un champ de deux lettres à la suite d'un champ de trois chiffres pour désigner une entité de niveau régional contenue dans une entité de niveau national ;

- trois chiffres, deux lettres suivis de deux chiffres pour désigner une entité de niveau local contenue dans une entité de niveau régional.

Par exemple, la Figure 3 présentant un exemple d'emboîtement des trois niveaux de représentation de la BDLISA montre :

- **308** (entité de niveau national) ;
- **308AA** (entité de niveau régional) ;
- **308AA01** (entité de niveau local).

Il faut noter toutefois que la codification n'est pas signifiante pour la filiation. A titre d'exemple, l'entité de niveau local 117AX01 des « Formations à chailles de l'Eocène, Poudingues de Nemours (bassin Seine-Normandie) » est comprise dans l'entité de niveau régional 113AH des « Formations à chailles de l'Eocène, Poudingues de Nemours et de Gien ».

Dénomination de l'entité

En général, le libellé de l'entité hydrogéologique est construit en juxtaposant :

- la lithologie dominante de l'entité ;
- son appartenance à un étage stratigraphique ;
- sa localisation géographique.

Par exemple : Sables verts de l'Albien du Bassin parisien.

Mais ce n'est pas toujours le cas et l'appellation usuelle a parfois été conservée. Par exemple la localisation précède parfois la stratigraphie (la localisation est associée à la lithologie) :

- Sables et Grès de Fontainebleau de l'Oligo-Miocène ;
- Calcaires de Brie du Rupélien ;
- Calcaires de l'Orléanais et de Pithiviers de l'Aquitainien ;
- Calcaires d'Étampes du Rupélien.

2.2.2. Les « thèmes » des entités hydrogéologiques

Le référentiel hydrogéologique est construit sur la base d'une subdivision du territoire en entités hydrogéologiques rattachées à cinq « thèmes » principaux :

- **alluvial** : ensemble des dépôts de plaine alluviale accompagnés des terrasses connectées hydrauliquement avec les cours d'eau ;
- **sédimentaire** : ensemble des formations peu ou pas déformées, non métamorphisées des bassins sédimentaires ;
- **socle** : formations magmatiques et métamorphiques ;
- **intensément plissé de montagne** : ensemble de formations géologiques récemment plissées appartenant aux massifs montagneux alpins, pyrénéens, languedociens et jurassiens ;
- **volcanisme** : volcanisme tertiaire et quaternaire ayant conservé une géométrie, une morphologie et/ou une structure volcanique identifiable.

La distribution spatiale du thème géologique pour les entités affleurantes de niveau 1 est présentée figure 6. La nomenclature SANDRE 348 est consultable à travers ce [lien](#)⁶.

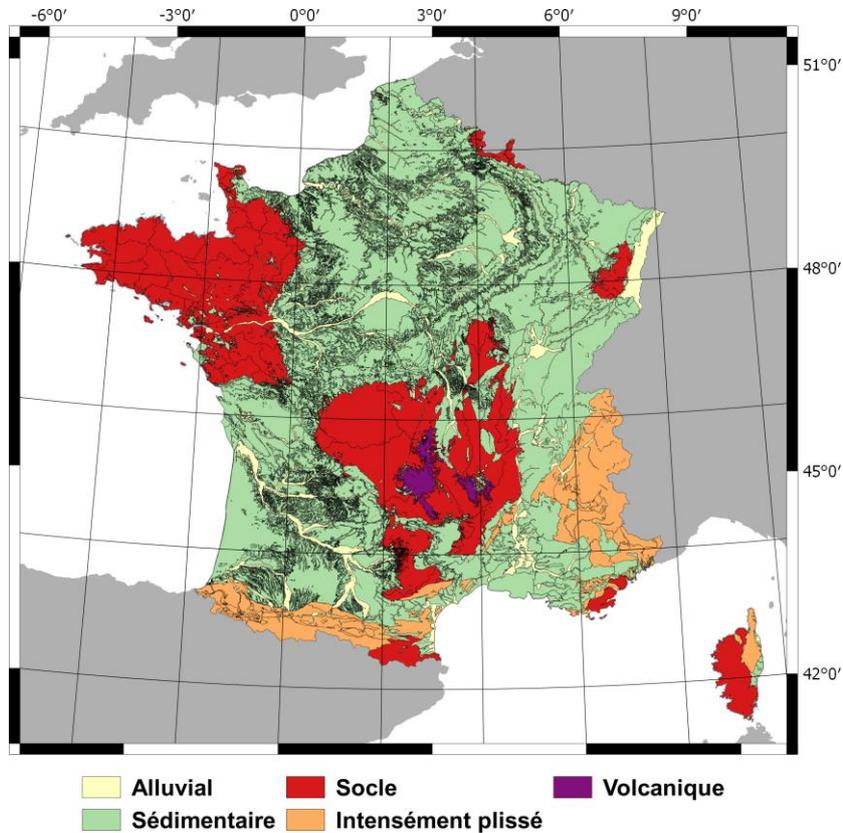


Figure 6 – Représentation pas « thème » des entités affleurantes de niveau 1

2.2.3. L'attribut « nature » des entités hydrogéologiques

La nature des entités hydrogéologiques est définie selon les niveaux de visualisation et à travers 8 types d'attributs. La définition de ces natures est présentée dans le tableau 2. La figure 7 expose les différentes natures hydrogéologiques et les liens de filiation en fonction des niveaux de visualisation. Ces liens obéissent aux règles suivantes :

- une entité hydrogéologique appartient à une seule nature par niveau ;
- une entité hydrogéologique a toujours une « entité mère » hormis pour le niveau national ;
- une entité hydrogéologique peut avoir de 0 à n « entités filles » hormis pour les unités du niveau local.

⁶ <http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:348:::referentiel:3.1:html>

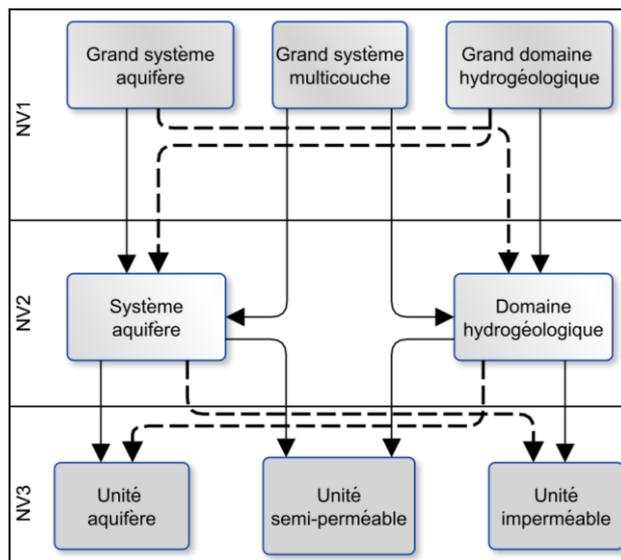


Figure 7 – Nature des entités hydrogéologiques en fonction du niveau de visualisation. Les flèches indiquent les liaisons possibles entre les niveaux de visualisation. Les relations en pointillés représentent des situations possibles mais minoritaires.

A titre d'exemple, la figure 8 affiche les différentes natures des entités hydrogéologiques au niveau 1. La nomenclature SANDRE 86 est décrite à travers ce [lien](http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:86:::referentiel:3.1:html)⁷.

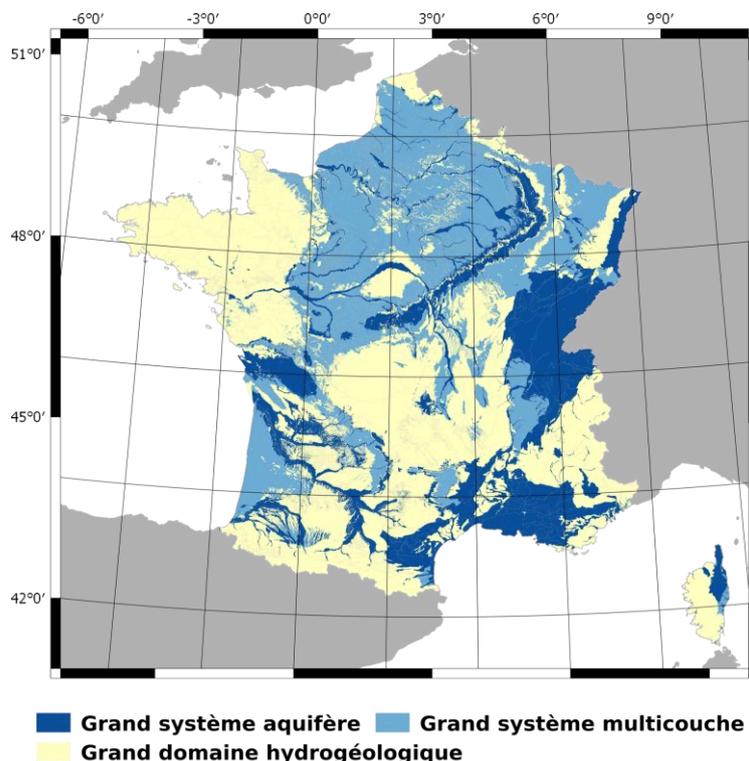


Figure 8 – Représentation par « nature » des entités affleurantes de niveau 1

⁷ <http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:86:::referentiel:3.1:html>

Tableau 2 – Définition de la nature des entités hydrogéologiques

| Niveaux | Nature | Description |
|---------|-------------------------------|--|
| NV1 | Grand système aquifère | Système physique composé d'une ou plusieurs unités aquifères, globalement en liaison hydraulique et qui est circonscrit par des limites litho-stratigraphiques et/ou structurales |
| | Grand domaine hydrogéologique | Système physique peu ou pas aquifère. Il peut contenir des unités aquifères mais sans grande extension latérale et isolées dans le massif imperméable |
| | Grand système multicouches | Alternance sur la verticale de grands systèmes aquifères et de grands domaines hydrogéologiques |
| NV2 | Système aquifère | Entité hydrogéologique aquifère issue d'une subdivision verticale ou horizontale d'un grand système aquifère ou d'un grand domaine hydrogéologique. La subdivision s'effectue sur, au moins l'un des critères suivants : <i>lithologie, structure, stratigraphie, piézométrie, géochimie, hydraulique</i> |
| | Domaine hydrogéologique | Entité hydrogéologique peu aquifère issue d'une subdivision verticale ou horizontale d'un grand domaine hydrogéologique ou d'un grand système. La subdivision s'effectue sur, au moins , l'un des critères suivants : <i>lithologie, structure, stratigraphie, piézométrie, géochimie, hydraulique</i> |
| NV3 | L'unité aquifère | Système physique élémentaire présentant des conditions hydrodynamiques homogènes, suffisamment conductrices pour permettre la circulation de l'eau souterraine. L'unité aquifère présente une perméabilité moyenne supérieure à 10^{-6} m/s. Elle est le résultat du découpage d'un système aquifère ou d'un domaine hydrogéologique (éventuellement directement d'un grand domaine ou d'un grand système aquifère). |
| | L'unité semi-perméable | Entité hydrogéologique avec une perméabilité moyenne comprise entre 10^{-9} m/s et 10^{-6} m/s. Cette unité peut contenir des ressources en eau mais sa productivité est insuffisante pour que ces ressources puissent être exploitées. Elle est le résultat du découpage d'un domaine hydrogéologique ou d'un système aquifère (éventuellement directement d'un grand domaine ou d'un grand système aquifère). |
| | L'unité imperméable | Système physique élémentaire présentant des faibles circulations d'eau. Sa perméabilité moyenne est inférieure à 10^{-9} m/s et elle est le résultat du découpage d'un domaine hydrogéologique ou d'un système aquifère (éventuellement directement d'un grand domaine ou d'un grand système aquifère) |

2.2.4. L'attribut « type de milieu » des entités hydrogéologiques

L'attribut « type de milieu » propose une description de la porosité caractérisant majoritairement une entité hydrogéologique. Cette caractérisation est réalisée uniquement au niveau 3 car il n'est pas toujours possible ou pertinent de caractériser globalement une entité de niveau 2 (et *a fortiori* de niveau 1) par un attribut unique, surtout lorsque les entités de niveau 3 constitutives d'un niveau 2 sont de types différents.

Les différents types sont définis dans le tableau 3 et la nomenclature SANDRE 353 de l'attribut milieu est décrite à travers ce [lien](#)⁸.

Tableau 3 – Définition des types de milieu dans la BDLISA

| Type de milieu | Définition |
|---|---|
| Poreux | Attribuée à une entité caractérisée par une matrice poreuse |
| Fissuré | Attribuée à une entité caractérisée par un réseau de fissures |
| Karstique | Attribuée à une entité caractérisée par un réseau karstique |
| Double porosité : matricielle et de fissures | Attribuée à une entité caractérisée à la fois par une matrice poreuse et par un réseau de fissures ayant tous deux un rôle hydrodynamique important (cas des aquifères de la craie). |
| Double porosité : karstique et de fissures | Attribuée à une entité caractérisée à la fois par un réseau karstique et par un réseau de fissures ayant tous deux un rôle hydrodynamique important (cas des « chaînons » calcaires pyrénéens). |
| Double porosité : fractures et fissures | Attribuée à une entité caractérisée à la fois par des fractures et des fissures (cas de certaines entités volcaniques en Martinique) |
| Double porosité : matricielle et de fractures | Attribuée à une entité caractérisée à la fois par une matrice poreuse et par un réseau de fractures ayant tous deux un rôle hydrodynamique important |
| Double porosité : matricielle et karstique | Attribuée à une entité caractérisée à la fois par une matrice poreuse et par un réseau karstique ayant tous deux un rôle hydrodynamique important |
| Triple porosité : matricielle, fractures et karstique | Nouveauté de la BDLISA V1. Cet attribut caractérise une entité à la fois par une porosité matricielle, de fracture et karstique. |
| Inconnu | Porosité inconnue |

⁸ <http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:353:::referentiel:3.1:html>

2.2.5. L'attribut « état » des entités hydrogéologiques

Le champ « état » du référentiel précise le statut de la nappe contenue dans les entités aquifères. Pour des raisons similaires à celles évoquées dans le chapitre précédent, la caractérisation a lieu uniquement pour les entités de niveau 3 :

- la nappe est captive lorsqu'elle est confinée entre deux terrains peu ou pas perméables ;
- la nappe est libre lorsqu'elle n'est pas limitée vers le haut par des terrains imperméables ;
- la nappe est libre et captive lorsqu'elle est globalement libre ou captive mais comporte respectivement des parties captives ou libres à un ou plusieurs endroits de sa superficie ;
- la nappe est alternativement libre puis captive lorsqu'elle présente des évolutions « libre / captive » au cours du temps ;
- la nappe est semi-captive lorsqu'elle est caractérisée par un régime hydrodynamique intermédiaire entre les régimes captif et libre. Il s'agit généralement d'une entité sous couverture où le toit de l'entité présente des zones de perméabilité (semi-perméable) permettant des transferts d'eau.

La nomenclature SANDRE 350 relative à l'attribut « état » est consultable à travers [ce lien](#)⁹.

2.2.6. L'attribut « origine de la construction » des entités hydrogéologiques

Cet attribut permet de savoir comment une entité a été construite. Les cas possibles et les codes associés à cet attribut sont mentionnés dans le tableau 4. La nomenclature SANDRE 698 est présente sur ce [lien](#)¹⁰.

Tableau 4 – Origines de construction des entités hydrogéologiques

| Libellé | Définition |
|-------------------------------------|---|
| Carte géologique ou hydrogéologique | L'ensemble des limites de l'entité hydrogéologique ont été créées en réutilisant les contours définis dans une ou plusieurs cartes géologiques ou hydrogéologiques ou documents de synthèse. |
| Complétude totale | Entité construite pour complétude topologique totale (l'ensemble des limites de l'entité du niveau d'utilisation n sont projetées vers un niveau n+1) pour combler un déficit de connaissance à la création de l'entité. |
| Complétude partielle | Entité construite pour complétude topologique complémentaire (une partie des limites de l'entité du niveau d'utilisation n sont projetées vers un niveau n+1) par déficit de la connaissance à la création de l'entité. |
| Agrégation par héritage | L'ensemble des limites de l'entité hydrogéologique ont été héritées par agrégation des niveaux les plus fins la constituant. |

⁹ <http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:350:::referentiel:3.1:html>

¹⁰ <http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:698:::referentiel:3.1:html>

2.2.7. La caractérisation des limites entre les entités hydrogéologiques

Les conditions d'échange de flux aux limites des entités sont décrites par une couche des limites des entités. Ces limites latérales sont cartographiées uniquement pour **les entités à l'affleurement et au niveau de visualisation local (NV3)**.

Concrètement, les limites sont représentées par des polygones identifiant les entités voisines de part et d'autre et sont caractérisées par un attribut associé aux arcs qui les composent. L'attribut est déduit de l'association des natures (cf. § 2.2.3) des entités situées autour de l'entité caractérisée. Le tableau 5 présente les différentes combinaisons de caractérisation de la nature des entités hydrogéologiques.

La construction de cette couche est réalisée automatiquement lors de l'assemblage des entités hydrogéologiques (cf. § 3.5).

Tableau 5 – Ensemble des combinaisons possibles pour caractériser la nature des limites des entités hydrogéologiques

| Niveau national | Code | 1 | 12 | 2 |
|-------------------------------|-------------|----------|-----------|----------|
| Grand système aquifère | 1 | 1-1 | 1-12 | 1-2 |
| Grand système multicouche | 12 | 12-1 | 12-12 | 12-2 |
| Grand domaine hydrogéologique | 2 | 2-1 | 2-12 | 2-2 |
| Niveau régional | | 3 | 4 | / |
| Système aquifère | 3 | 3-3 | 3-4 | / |
| Domaine hydrogéologique | 4 | 4-3 | 4-4 | / |
| Niveau local | | 5 | 6 | 7 |
| Unité aquifère | 5 | 5-5 | 5-6 | 5-7 |
| Unité semi-perméable | 6 | 6-5 | 6-6 | 6-7 |
| Unité imperméable | 7 | 7-5 | 7-6 | 7-7 |

Un exemple illustrant la caractérisation des limites à l'affleurement des entités hydrogéologiques est proposé en figure 9.

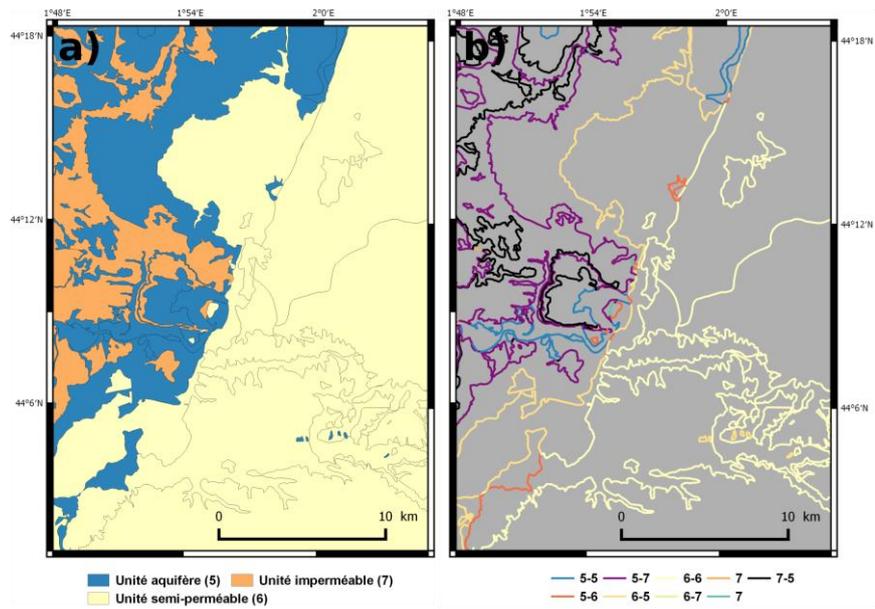


Figure 9 – Caractérisation de la nature des limites des entités hydrogéologiques à l’affleurement au niveau 3. a) Nature des entités hydrogéologiques à l’affleurement au niveau 3 et b) Caractéristiques des limites entre ces mêmes unités.

3. Méthode d'élaboration de la BDLISA

Après la présentation des principes de construction et de caractérisation des entités hydrogéologiques de la BDLISA, ce chapitre s'attarde sur le détail des différentes étapes d'élaboration du référentiel.

3.1. LES ETAPES DE CONSTRUCTION DE LA BDLISA

La construction de la BDLISA se déroule en plusieurs étapes présentées schématiquement dans la figure 10.

1. La construction se base dans un premier temps sur l'analyse des données (géologiques, hydrogéologiques, documents de synthèses divers...) et la constitution d'un Tableau Multi-Echelles ou TME (cf § 3.3). Ce dernier permet de recenser et de cadrer l'emboîtement des entités hydrogéologiques dans les niveaux de visualisation.
2. Cette phase laisse la place ensuite à une phase technique de délimitation géographique et de caractérisation des entités hydrogéologiques au niveau 3. Les méthodes de délimitation des entités dépendent du thème géologique (cf. § 2.2.2) et sont présentées dans le détail dans le chapitre 4.
3. Suite à ce travail de délimitation effectuée en région, l'ensemble des entités est assemblé à l'échelle du territoire national. Cette étape comporte de nombreux contrôles et des allers-retours peuvent avoir lieu entre les étapes 1, 2 et 3 pour corriger certaines erreurs.

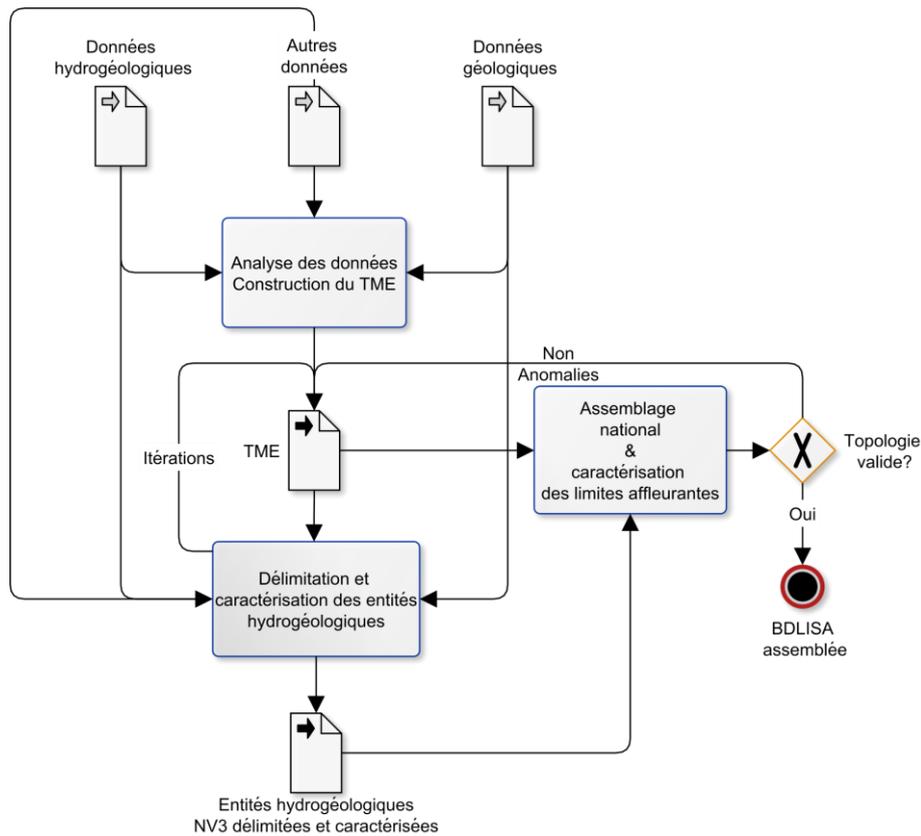


Figure 10 – Les principales étapes de construction de la BDLISA (encadrés bleus).

3.2. LES DONNEES DE CONSTRUCTION

L'échelle de construction de la BDLISA est au 1/50 000 et la méthode d'élaboration s'appuie sur un ensemble de données listées dans le tableau 6. Les cartes géologiques harmonisées au 1/50 000 et la BD Carthage constituent les principales informations pour élaborer la BDLISA.

Tableau 6 – Principales données utilisées pour construire la BDLISA

| Données | Description |
|--------------------|---|
| BD Million-Géol* | Cartes géologiques au 1/1 000 000 |
| BD Objets-Géol250* | Cartes géologiques au 1/250 000 |
| BD Objets-Géol50 | Cartes géologiques au 1/50 000 harmonisées |
| BSS | Base de données nationale des données du Sous-Sol (BSS) décrivant les ouvrages souterrains déclarés |
| BD Carthage | Base de données du réseau hydrographique |
| Bd Log Iso | Banque de données nationale des forages ayant fait l'objet d'une validation géologique par le BRGM |
| Banque Hydro | Utilisation des statistiques hydrologiques des stations de jaugeage |

* Ces données sont uniquement exploitées dans les zones non couvertes par les cartes géologiques au 1/50 000.

3.3. ANALYSE DES DONNEES ET CONSTRUCTION DU TABLEAU MULTI-EHELLES

3.3.1. Identification et cadrage hydrogéologique général

Le cadrage hydrogéologique consiste à identifier les grandes entités hydrogéologiques de niveau national et régional dans le secteur d'étude. Les tests de délimitation réalisés lors de la phase méthodologique d'élaboration du référentiel ont permis de dresser une première liste des entités aux niveaux 1 et 2, liste qui a été parfois complétée, voire modifiée, durant la phase de construction du référentiel.

3.3.2. De l'analyse des cartes géologiques au tableau multi-échelles

Analyse des cartes géologiques

La délimitation des entités hydrogéologiques nécessite d'abord un recours aux cartes géologiques au 1/50 000. Lors de la construction du référentiel, celles-ci n'étaient pas toutes harmonisées (les formations géologiques ne sont pas toujours « jointives » d'une carte à une autre et peuvent être identifiées par des noms différents), un important travail d'harmonisation préalable a parfois été nécessaire (Aquitaine, Pays de Loire). La délimitation proprement dite (création de contours) s'effectue ensuite sur des critères lithologiques et hydrogéologiques.

Constitution de la base de données associée au référentiel

Cette base intègre tous les éléments numérisés nécessaires au travail de délimitation : cartes géologiques (vecteurs et rasters), référentiel hydrographique (BD Carthage), forages avec logs descriptifs, masses d'eau...

Rattachement des entités hydrogéologiques aux formations géologiques affluantes

Il s'agit d'établir une correspondance stricte entre ces entités hydrogéologiques et les formations géologiques des cartes au 1/50 000. Très généralement, cette première liste a été revue et complétée.

Correspondance entre les formations géologiques décrites dans les « logs géologiques » et les formations des cartes géologiques

Cette étape nécessite l'extraction des logs géologiques de la BSS et leur analyse. Elle est nécessaire à la délimitation des entités sous couverture.

La difficulté est de parvenir à une correspondance stricte entre les formations géologiques des cartes et les formations nommées dans les logs géologiques (appellation locale).

Dans les cas d'absence de correspondance stricte, il faut rechercher la solution hydrogéologiquement et stratigraphiquement la plus acceptable.

Construction du Tableau Multi-Echelles (TME)

Le TME est l'élément structurant de la BDLISA et l'outil de base pour délimiter les entités.

Dans un secteur donné, il récapitule tous les types d'entités rencontrés et les superpose verticalement suivant un ordre stratigraphique. C'est en quelque sorte l'équivalent d'un log hydrogéologique synthétique régional. Il constitue le support de délimitation projeté aux trois niveaux de visualisation des entités. Le tableau est donc triple à raison d'un log hydro-stratigraphique par niveau (NV1, NV2 ou NV3). A titre d'exemple, la figure 11 présente un extrait du tableau multi-échelles centré sur l'entité de niveau 1 n°167 en Basse-Normandie.

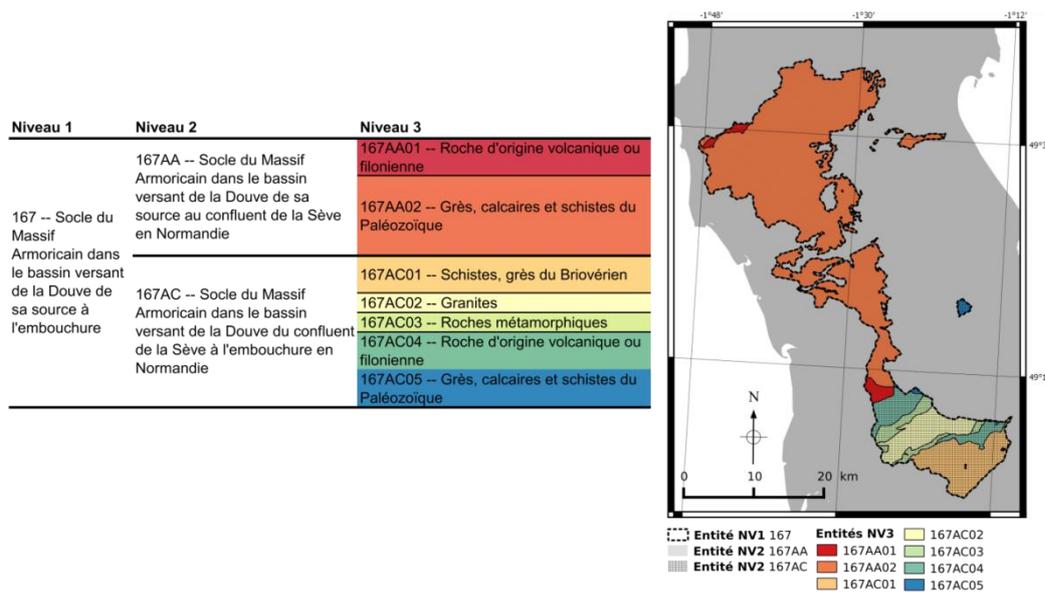


Figure 11 – Tableau multi-échelles et sa déclinaison cartographique. Exemple de l'entité 167 « Socle du Massif Armoricaïn dans le bassin versant de la Douve de sa source à l'embouchure. Les entités affichées sont à l'affleurement.

Les entités intégrées dans un TME le sont après une phase d'analyse des cartes géologiques au 1/50 000, des données recensées dans la zone d'étude (notamment celles des logs géologiques validés) et de différentes sources documentaires.

La construction du référentiel ayant été faite sur quatre ans, par région et parfois par département, près d'une trentaine de TME ont été construits, ce qui a nécessité un travail de mise en correspondance et d'harmonisation des différents tableaux au fur et à mesure de la progression du référentiel, afin d'aboutir à un seul et unique TME pour l'ensemble du territoire national.

3.4. LA DELIMITATION DES ENTITES HYDROGEOLOGIQUES

La délimitation des entités hydrogéologiques consiste à définir de façon cartographique les contours des entités hydrogéologiques identifiées dans le TME. La méthode utilisée varie en fonction des cinq « thèmes » présentés précédemment dans le paragraphe 2.2.2. En effet, chacun de ces thèmes correspond à un contexte géologique avec des propriétés hydrogéologiques et un niveau de connaissances spécifique, qui induisent

donc des différences dans la manière de cartographier ces entités selon ces contextes. Les méthodes de délimitation ont ainsi été définies dans le guide méthodologique de 2003 ([RP-52261-FR](#)) et le chapitre 4 en présente ainsi une synthèse.

Le travail de délimitation est réalisé avec un SIG, entité par entité, à l'aide des données numérisées intégrées dans le logiciel : en particulier les affleurements des formations géologiques, les logs des forages (pour la partie sous couverture) et les cartes piézométriques. D'autres documents sont aussi exploités pour préciser les contours en profondeur (synthèses hydrogéologiques, rapports d'études...).

Dans le bassin Rhône-Méditerranée Corse, de nombreuses cartes géologiques n'étant pas numérisées lors du démarrage du projet, un important travail de délimitation sur calques a été entrepris.

3.5. ASSEMBLAGE NATIONAL PAR BASSIN HYDROGRAPHIQUE

Afin de finaliser la BDLISA, une dernière étape consiste à assembler spatialement l'ensemble des entités hydrogéologiques de niveau 3 produites en région. En métropole, un travail spécifique a été mené d'analyse de leur homogénéité d'ensemble, dans un premier temps au sein des grands bassins hydrographiques français, puis sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Les tables attributaires associées aux contours numérisés des entités (une table par entité) sont assemblées par un programme développé en langage C et basé sur les fonctionnalités d'ArcGIS®. Ce programme est appelé « modèle de gestion » car il permet de créer et contrôler l'organisation des entités hydrogéologiques.

L'ensemble des entités hydrogéologiques de niveau 3 est ainsi assemblé spatialement, en prenant en compte l'emboîtement des niveaux et les emprises horizontale et verticale (la stratigraphie des entités hydrogéologiques) des couches géographiques.

Le modèle de gestion du référentiel contrôle la cohérence topologique de l'ensemble (pas de recouvrement d'entités de même ordre relatif, pas de lacunes spatiales, contrôle des doublons...). Les artefacts manifestes de délimitation sont corrigés automatiquement mais des anomalies significatives peuvent être détectées nécessitant une vérification plus poussée et un retour aux tableaux multi-échelles. Plusieurs allers-retours peuvent être ainsi nécessaires entre cette étape d'assemblage et celle de délimitation des entités.

La figure 12 présente les principales étapes d'assemblage des entités hydrogéologiques de la BDLISA :

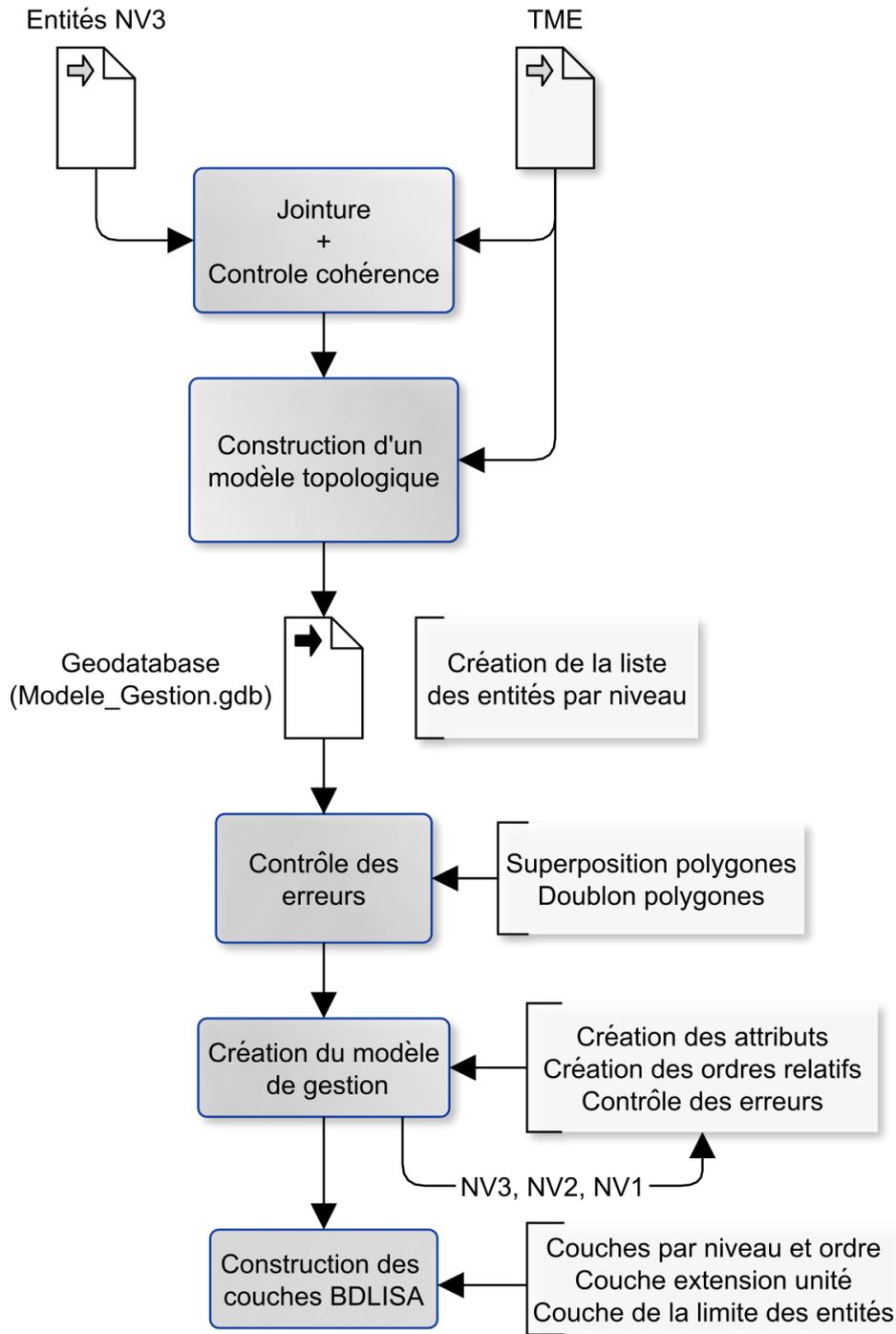


Figure 12 – Principales étapes de l'assemblage final des entités hydrogéologiques

Au final, le modèle génère l'ensemble des entités hydrogéologiques par niveau de visualisation et par ordre stratigraphique. A la suite de cette opération, une analyse est menée par le SANDRE afin de valider la BDLISA et de permettre sa diffusion. Le chapitre 5 consacre une partie de cette phase indispensable avant la diffusion du référentiel.

4. Règles de délimitation des entités hydrogéologiques en fonction du thème géologique

Les règles de délimitation des entités hydrogéologiques ont été établies dans le guide méthodologique national de 2003 ([RP-52261-FR](#)). Ce chapitre propose de présenter la synthèse des critères utilisés pour découper les entités hydrogéologiques. La présentation n'est pas exhaustive et pour obtenir davantage d'informations sur les critères utilisés, le lecteur sera invité au fil des paragraphes à consulter les rapports de construction régionale. Le rapport de la BDLISA V0 ([RP-62261-FR](#)) propose dans les chapitres 4, 5, 6, 7, et 8 une description en profondeur des méthodes employées.

4.1. REGLES DE DELIMITATION DU THEME SEDIMENTAIRE

Le thème sédimentaire regroupe les grands ensembles des bassins sédimentaires, les formations superficielles continentales du Quaternaire correspondant à des dépôts glaciaires, fluvio-glaciaires ou des alluvions anciennes qui peuvent être déconnectées hydrauliquement des cours d'eau.

La délimitation en zones sédimentaires est complexe car ces secteurs intègrent des systèmes multicouches où les entités hydrogéologiques sont en partie en profondeur. Dans ce contexte, les contours des parties affleurantes des entités correspondent aux contours des formations des cartes géologiques au 1/50 000 harmonisées. Les limites des entités sous couverture sont établies ou précisées à partir des logs géologiques extraits de la BSS et des connaissances géologiques et hydrogéologiques acquises à l'occasion d'études effectuées dans le secteur concerné. Ainsi, en profondeur, de nombreuses limites sont à considérer comme des limites d'interprétation, modifiables en fonction de la progression des connaissances.

4.1.1. Critères de délimitation généraux

Globalement, le tracé des entités hydrogéologiques en domaine sédimentaire s'appuie sur les données de forages, la connaissance régionale des hydrogéologues et géologues, et sur les affleurements de la couche étudiée. Les critères de délimitation utilisés dépendent de la position stratigraphique de l'entité cartographiée, qu'elle soit à l'affleurement ou sous couverture.

Délimitation des entités hydrogéologiques à l'affleurement

Pour chaque entité hydrogéologique, les polygones correspondant aux formations affleurantes sont extraits de la carte géologique harmonisée. Les limites d'affleurement de l'entité sont ensuite tracées à partir des contours des polygones.

Le tracé des limites d'affleurement est une opération qui peut être longue compte tenu du morcellement des polygones, des discontinuités et des placages superficiels masquant la formation. Le contour est précisé en s'aidant de la topographie (pour les couches considérées comme subhorizontales) et des logs validés existants. Les contours ainsi construits pour les parties affleurantes sont vérifiés en les positionnant par rapport aux affleurements des formations plus anciennes.

Le travail sous SIG réalisé pour la délimitation des entités NV3 s'est basé sur les principaux critères suivants :

- délimitation lithologique : limites des parties affleurantes, extraites de la carte géologique harmonisée et des limites en profondeur tracées à partir des informations disponibles, en particulier les logs de forages ;
- délimitation par crête piézométrique ;
- délimitation par variation latérale de faciès.

Délimitation des parties sous couverture

La délimitation des entités hydrogéologiques sous couverture est essentiellement réalisée à partir des éléments suivants :

- le report des forages ou sondages ayant traversé, totalement ou partiellement, les formations géologiques constitutives de l'entité hydrogéologique concernée ;
- le positionnement des affleurements de formations plus anciennes que celle étudiée et des forages des formations plus anciennes ;
- les informations provenant d'études sectorielles et de la bibliographie générale ;
- les modèles géologiques tridimensionnels lorsqu'ils sont disponibles.

Dans certaines situations, les entités NV3 sont définies à partir de grandes crêtes piézométriques. Le choix des crêtes piézométriques retenues pour la délimitation est réalisé en concertation avec les partenaires locaux. Les crêtes retenues sont considérées comme peu fluctuantes.

Important : Les limites d'extension des entités sous-couverture peuvent être approximatives faute de données en nombre suffisant. Elles pourront évoluer en fonction des avancées des connaissances géologiques de la région.

4.1.2. Pour aller plus loin

Pour appréhender dans le détail la méthodologie appliquée sur tout le territoire, le lecteur intéressé est invité à consulter le chapitre 4 du rapport [RP-62261-FR](#) relatif à la construction de la version 0 de la BDLISA. Celui-ci présente plus en détail les principales situations rencontrées lors de la délimitation des entités dans le thème sédimentaire.

D'autre part, les rapports associés à la construction de la BDLISA dans les principaux grands bassins sédimentaires permettent d'appréhender localement les techniques utilisées (tableau 7).

Tableau 7 – Principaux rapports en lien avec le thème géologique sédimentaire

| Bassins hydrographiques | Rapports |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Adour-Garonne | RP-62235-FR |
| Artois-Picardie | RP-62207-FR |
| Seine-Normandie | RP-61826-FR |

4.2. REGLES DE DELIMITATION DU THEME SOCLE

Les règles de délimitation des entités hydrogéologiques en domaine de socle sont liées aux différents niveaux de visualisation (NV1, NV2, NV3) et sont essentiellement basées sur les contours des bassins versants de la BD Carthage. Cette méthode s'appuie sur le postulat d'une relation entre le bassin hydrographique et le bassin hydrogéologique :

- La paléotopographie est proche de la topographie actuelle ;
- Les écoulements souterrains suivent le réseau de fissures subhorizontales ;
- Les écoulements souterrains (altérites et horizon fissuré) contribuent au débit de la rivière.

Les critères de délimitation des entités sont ainsi en lien avec l'hydrologie et l'hydrographie (notamment débits d'étiage spécifiques) pour caractériser l'apport des écoulements d'eau souterraine au débit du cours d'eau.

4.2.1. Délimitation au niveau national (NV1)

La délimitation est réalisée en suivant les bassins versants des grands cours d'eau. On regroupe éventuellement les petits bassins côtiers. L'échelle de découpage doit aboutir à des entités de niveau national NV1 d'une superficie de l'ordre de quelques milliers de km² (3 000 à 5 000 km² environ).

La délimitation des entités est faite à partir de la BD Carthage sur la base de la région hydrographique ou du secteur.

4.2.2. Délimitation au niveau régional (NV2)

La délimitation se fait aussi par bassin versant. La démarche préconisée nécessite des données de débit en nombre suffisant : stations de jaugeage bien réparties, historiques de mesures d'une demi-douzaine d'années au moins. Elle repose sur la notion de débit spécifique d'étiage (QES) qui correspond au rapport entre la moyenne des débits les plus bas de l'année sur une période de dix jours consécutifs (VCN10) et la superficie du bassin versant.

Quatre étapes sont prévues dans la méthodologie :

1. délimitation par subdivision des bassins versants NV1, sur la base de critères morphologiques ;
2. caractérisation du QES des bassins versants disposant de jaugeages (critère hydraulique) ;
3. affectation d'un QES à chaque entité issue de l'étape 1 ci-dessus (critère hydraulique) ;
4. regroupement des entités NV2 caractérisées par la même classe de ressource en eau, en visant une taille optimum des entités NV2 (perspective : critère de gestion).

4.2.3. Délimitation au niveau local (NV3)

Dans le guide méthodologique, trois critères principaux sont proposés :

- l'épaisseur d'altérites et du milieu fracturé ;
- la lithologie, critère indirect de la « qualité » hydrogéologique des altérites et de l'horizon fissuré. C'est le critère le plus susceptible d'être utilisé ;
- le débit spécifique des forages. Ce critère suppose qu'il existe suffisamment de forages et de données associées, ce qui n'est pas le cas général.

4.2.4. Démarche de délimitation dans le référentiel BDLISA

La méthodologie de délimitation des niveaux 2 et 3 a posé des difficultés d'application dans la plupart des régions de socle (excepté la Bretagne et les Pays de la Loire) en raison :

- du peu de données ;
- du morcellement des formations ;
- et parfois de cartes géologiques non harmonisées ou manquantes.

Pour pallier ces difficultés, une autre démarche a été utilisée, applicable à tous les domaines de socle du territoire national. Cette démarche consiste à subdiviser les « bassins versants-entités » de niveau 2 en sous-bassins (sous-secteurs BD Carthage) et à les caractériser en fonction des données disponibles : lithologie et hydrogéologie si possible, lithologie seulement en l'absence de critères hydrogéologiques permettant de caractériser les potentialités aquifères des entités.

4.2.5. Les rapports régionaux en lien avec le socle

La description complète des méthodes utilisées pour délimiter les entités hydrogéologiques en zone de socle est abordée dans les différents rapports régionaux. Le tableau 8 recense l'ensemble de ces rapports.

Tableau 8 – Liste des rapports de construction de la BDLISA dans les régions de socle

| Régions | Rapports |
|----------------------------|--|
| Auvergne | RP-62229-FR |
| Basse-Normandie | RP-57518-FR et RP-61826-FR |
| Bourgogne | RP-57091-FR |
| Bretagne | RP-62227-FR |
| Champagne-Ardenne | RP-62216-FR |
| Corse | RP-59924-FR |
| Franche-Comté | RP-57091-FR |
| Guyane | RP-62239-FR |
| Languedoc-Roussillon | RP-60305-FR |
| Limousin | RP-62230-FR |
| Loire | RP-62228-FR |
| Lorraine | RP-62216-FR |
| Lozère | RP-62234-FR |
| Midi-Pyrénées | RP-56952-FR |
| Nord-Pas-de-Calais | RP-62207-FR |
| Pays de la Loire | RP-56954-FR |
| Provence-Alpes-Côte d'azur | RP-61846-FR |
| Rhône-Alpes | RP-51821-FR et RP-57091-FR |

4.3. REGLES DE DELIMITATION DES FORMATIONS VOLCANIQUES

Les entités volcaniques appartiennent aux massifs volcaniques tertiaires et quaternaires qui ont gardé une géométrie, une morphologie et/ou une structure volcanique identifiable (soit celle d'origine, soit celle résultant d'une évolution géomorphologique simple de type : érosion, affaissement ou effondrement partiel...). Ainsi sont exclues les unités volcaniques dont le comportement hydrogéologique se rapproche de celui des formations de socle, suite aux processus de métamorphisme et de déformation qu'elles ont subi. C'est le cas des :

- roches volcaniques permienes des Maures, de l'Estérel et du Mercantour ;
- volcanites anté-permienes ;
- roches et formations volcaniques incluses dans les séries fortement plissées des chaînes alpines et pyrénéennes.

Les divers pointements d'âge secondaire, tertiaire ou quaternaire, sans grand intérêt hydrogéologique, très localisés et généralement dispersés des Vosges, de Lorraine, d'Alsace, de Provence, des Causses, du Languedoc, de Bourgogne, de Limagne, du Forez, d'Ardèche sont exclus.

Les aquifères de type volcanique sont découpés aux échelles nationale et locale. L'échelon intermédiaire régional n'est pas utilisé dans le thème volcanique. Les limites des entités sont de type géologique.

Certains aquifères volcaniques ont un bassin d'alimentation notablement plus étendu que la partie volcanique. Sur la chaîne des Puys, les bassins versants peuvent représenter 15% supplémentaires par rapport à la surface des coulées volcaniques. C'est évidemment leur surface qui est à prendre en compte dans les calculs de bilan, sur les zones à protéger, etc.

4.3.1. Délimitation au niveau national (NV1)

Les entités hydrogéologiques à l'échelle nationale ont une surface comprise entre 100 et 2500 km². Les limites du niveau national peuvent coïncider avec des contours du niveau régional. Compte tenu de la répartition spatiale des formations volcaniques en France, ceci conduit à l'individualisation d'entités hydrogéologiques en grande majorité disjointes les unes des autres :

- les îles : Réunion, Guadeloupe, Martinique ;
- ou les massifs volcaniques reposant sur un substratum non volcanique : chaîne des Puys, Cantal, Aubrac, etc.).

Le Massif central comprend quatre ou cinq entités du niveau national (Cantal, Cézallier, Devès - oriental et/ou occidental -, la chaîne des Puys). Le Cantal présentant peu de ressources en eau souterraine est considéré comme une seule entité (domaine hydrogéologique) et ne fait pas l'objet de subdivisions à l'échelle locale.

Le Mont-Dore devrait idéalement être délimité verticalement pour prendre en compte sa structure en mille-feuilles. Cependant, le niveau de connaissance ne permet pas une représentation similaire à celle du sédimentaire sous couverture.

4.3.2. Délimitation au niveau régional (NV2)

Compte tenu de l'extension limitée des formations volcaniques existant en France, ces entités hydrogéologiques de niveau national ne sont pas subdivisées pour une visualisation au niveau régional.

4.3.3. Délimitation au niveau local (NV3)

Les règles de délimitation des entités hydrogéologiques au niveau 3 sont les suivantes :

- identifier les bassins versants ;
- identifier les structures en sous-bassins versants lorsque c'est possible (Devès par exemple) ;
- tracer les limites lithographiques des formations volcaniques au comportement hydrogéologique homogène : structure géologique, propriétés de fonctionnement hydrogéologique similaires telles que la nature de la perméabilité (d'interstice, de fissures...).

4.3.4. Les rapports régionaux en lien avec les zones de volcanisme

La description complète des méthodes utilisées pour découper les entités hydrogéologiques dans les zones volcaniques est abordée dans les différents rapports régionaux présentés dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9 – Liste des rapports de construction de la BDLISA dans les zones de volcanisme

| Régions | Rapports |
|---------------|---|
| Auvergne | RP-62229-FR |
| Guadeloupe | RP-62237-FR |
| Martinique | RP-57740-FR |
| Midi-Pyrénées | RP-56952-FR , RP-56952-FR , RP-62243-FR , RP-62236-FR |
| Réunion | RP-58199-FR |

4.4. REGLES DE DELIMITATION DES FORMATIONS DU THEME INTENSEMENT PLISSE

Les formations rattachées à ce thème correspondent aux formations géologiques récemment plissées appartenant aux massifs montagneux alpins, pyrénéens, languedociens et jurassiens. Ces formations se caractérisent par des variations rapides de la lithologie (souvent latérales), de la stratigraphie et du métamorphisme, en rapport avec les déformations et les structurations des massifs montagneux. Ces variations ont pour conséquences :

- **sur le plan géologique** : une juxtaposition et/ou une superposition de formations géologiques, de nature et d'épaisseur variées, renforcées par la présence de grandes discontinuités ;
- **sur le plan hydrogéologique** : une alternance d'aquifères (potentiels ou démontrés) et de niveaux imperméables relatifs de taille et d'extension très variables.

4.4.1. Délimitation au niveau national (NV1)

Les grands domaines hydrogéologiques sont des systèmes physiques constitués de plusieurs grands ensembles litho-stratigraphiques peu ou pas aquifères (par rapport aux grands systèmes aquifères nationaux). Ils sont à découper en suivant les grands bassins hydrographiques. Le croisement de ces deux critères (litho-stratigraphie et bassins versants) conduit à la délimitation des entités.

4.4.2. Délimitation au niveau régional (NV2)

La distinction entre « domaines hydrogéologiques » (formations peu perméables ne disposant pas de ressources exploitables) et des ensembles de formations ou de successions de formations à dominantes aquifères ou potentiellement aquifères (assimilables à des systèmes aquifères ayant globalement les mêmes caractéristiques hydrodynamiques) se fait sur les critères stratigraphiques, lithologiques et structuraux éventuellement hydro-chimiques.

Les limites des systèmes et des domaines s'apparentent aux types suivants :

- limites des bassins versants principaux (en fonction du niveau de classement du cours d'eau ou de leur rôle structurant), analogues au niveau NV1 ;
- contacts structuraux (failles, chevauchement, contacts tectoniques majeurs, etc.) ;
- limites lithologiques et stratigraphiques ;
- éléments géomorphologiques.

4.4.3. Délimitation au niveau local (NV3)

Les aquifères alluviaux de montagne (généralement en fond de vallée) et les aquifères locaux présents dans des formations glaciaires et fluvioglaciales, jouent un rôle majeur pour la fourniture d'eau potable. Ils peuvent être les seules ressources exploitées. Ces formations sont à prendre en considération comme des « unités aquifères » à part entière, à délimiter et à représenter comme des « couches supplémentaires » superposées aux entités (domaines ou systèmes) en fonction de leur dimension conséquente et/ou de leur intérêt économique.

Ce niveau est individualisé facultativement par rapport au niveau NV2, sous réserve de disposer des connaissances nécessaires et suffisantes. Les critères à prendre en compte sont la capacité aquifère et la lithologie.

Remarques : Les grandes limites litho-structurales sont plus facilement visibles sur les cartes géologiques au 1/1 000 000 et 1/250 000 (zone alpine en particulier) qui sont adaptées à une lecture globale, préalable et nécessaire de ces domaines compliqués du point de vue géologique. En cas d'incertitude, la carte au 1/50 000 complète localement l'information. En cas d'hétérogénéité entre cartes au 1/50 000, on recherche l'homogénéité à travers les cartes au 1/250 000.

La carte au 1/1 000 000 étant stratigraphique, elle entraîne ainsi des distorsions pour l'analyse fine des limites. En revanche, elle permet d'identifier l'enveloppe des grandes unités et le schéma structural des zones intensément plissées.

4.4.4. Les rapports régionaux en lien au thème géologique de l'intensément plissé

La description complète des méthodes utilisées pour découper les entités hydrogéologiques dans les zones en lien avec le thème géologique de l'intensément plissé est consultable dans les différents rapports régionaux présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 – Liste des rapports de construction de la BDLISA dans les zones intensément plissées

| Régions | Rapports |
|----------------------------|-----------------------------|
| Aquitaine/Midi-Pyrénées | RP-62236-FR |
| Corse | RP-59924-FR |
| Languedoc-Roussillon | RP-60305-FR |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | RP-61846-FR |

4.5. REGLES DE DELIMITATION DES FORMATIONS DU THEME ALLUVIAL

Les formations alluviales englobent l'ensemble des dépôts de plaine alluviale ainsi que les terrasses connectées hydrauliquement avec les cours d'eau. Initialement, ces entités hydrogéologiques étaient définies en entités principales ou en entités complémentaires selon des caractéristiques disparates à l'échelle du territoire.

Dans un objectif d'harmonisation, cette dichotomie est maintenant fondée sur la capacité de stockage des alluvions à travers la notion « d'alluvions réservoirs » : les alluvions dont l'épaisseur et la granulométrie permettent de stocker un volume important d'eau souterraine potentiellement exploitable. Cette notion d'exploitabilité ne peut être automatiquement définie. Elle découle donc principalement d'une expertise locale, associée à des enjeux pouvant être variables selon les contextes (zone de montagne, de basse plaine...etc...).

Ce type d'alluvion est intégré dans les entités principales de la BDLISA tandis que les alluvions dites « non réservoirs » sont représentées dans la couche des entités complémentaires. La délimitation par niveau de représentation est en règle générale basée sur le rang Strahler (indicateur rendant compte synthétiquement de la taille du cours d'eau) mais quelques cas particuliers peuvent persister à l'échelle nationale. Les critères de délimitation sont synthétisés dans le tableau 11.

Tableau 11 – Critères de délimitation des alluvions selon les niveaux de visualisation

| Niveaux | Critères | Description |
|---------|---|---|
| NV1 | Lithologiques, morphologiques et hydrogéologiques | Alluvions des grands cours d'eau dont la largeur dépasse 200 m (grands bassins hydrographiques) |
| NV2 | Lithologiques, morphologiques et hydrogéologiques | Délimitation selon un rang Strahler de 5 et 6 |
| NV3 | Lithologiques, morphologiques et hydrogéologiques | Délimitation selon un rang Strahler inférieur à 5 |

5. Validation, diffusion et évolution du référentiel

Le référentiel BDLISA est un outil du Système d'Information sur l'Eau (SIE) dont une tâche essentielle est la mise en place d'un langage commun pour les données sur l'eau. Le contrôle de la conformité de la BDLISA vis-à-vis des concepts SANDRE, détaillés dans un document directeur appelé [dictionnaire des données¹¹](#), est un axe important pour maintenir la cohérence d'ensemble des données diffusées et assurer leur interopérabilité avec les systèmes d'information environnementaux.

La Figure 13 présente les différentes interactions dans la phase finale de création de la BDLISA. Le BRGM soumet une version au SANDRE qui réalise une analyse de cohérence (cf. chapitre 5.1). Lorsque la version est validée, le BRGM travaille alors sur la mise en place de la base de diffusion et la création des services-web associés.

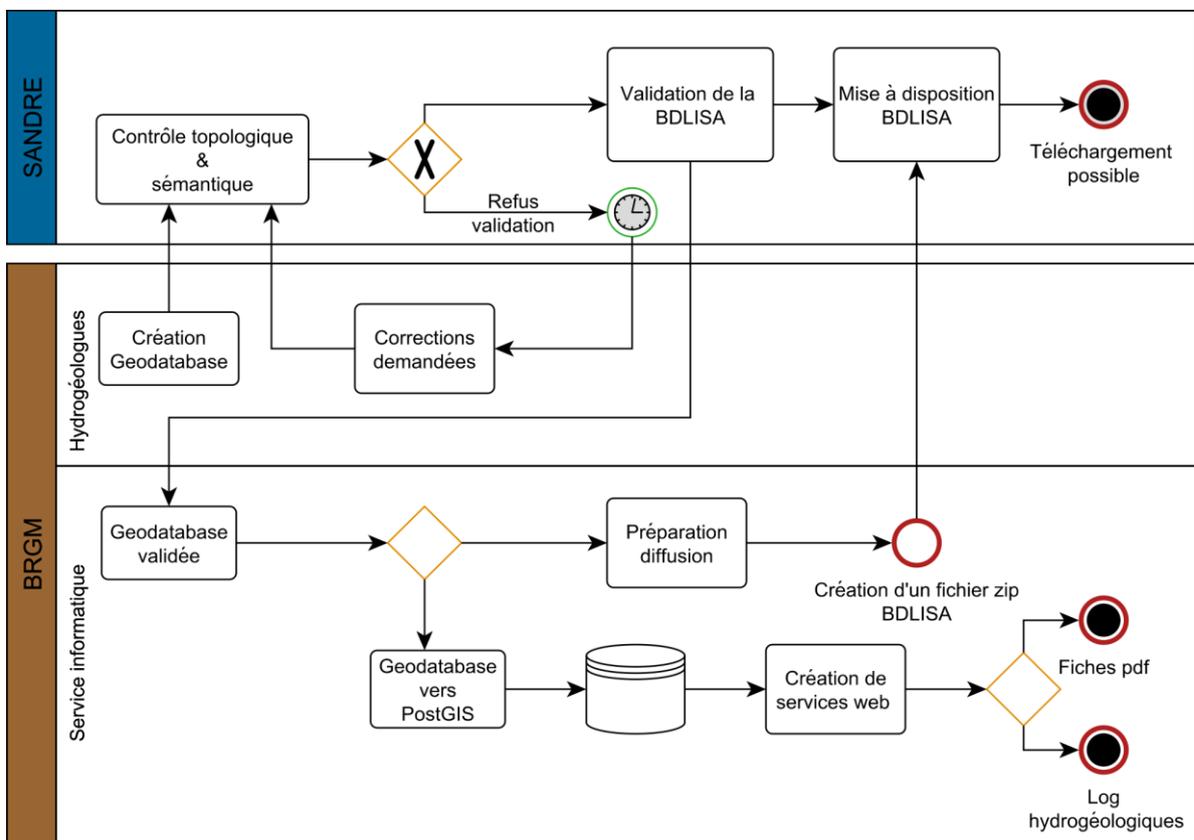


Figure 13 – Diagramme de collaboration entre les acteurs du projet BDLISA pour la validation et la diffusion de chaque version du référentiel BDLISA.

¹¹ http://sandre.eaufrance.fr/ftp/documents/fr/ddd/saq/2.0/sandre_dictionnaire_SAQ_2.pdf

5.1. VALIDATION DE LA BASE DE DONNEES

La BDLISA est soumise à un ensemble de contrôles de cohérence avant sa diffusion. Ces contrôles sont réalisés par le SANDRE. Ils abordent les aspects géographiques et sémantiques de la base de données.

Les anomalies rencontrées sont corrigées pour que le référentiel diffusé réponde aux attentes de qualité de l'organisme de contrôle. L'ensemble de ces contrôles s'appuie sur un document directeur qui décrit les scénarios d'échange du référentiel et l'organisation de la base de données (dictionnaire des données). La figure 13 synthétise l'ensemble des processus et échanges ayant lieu lors de cette phase de validation et de préparation à la diffusion de la BDLISA. Le tableau 12 présente les différents types de contrôle effectués par le SANDRE.

Tableau 12 – Principaux contrôles réalisés avant la diffusion de la BDLISA par le SANDRE

| Types | Contrôles |
|--------------|--|
| Sémantique | Recherche des doublons sur le nom et le code d'une entité hydrogéologique |
| | Recherche des champs non renseignés |
| | Analyse de la cohérence généalogique avec la précédente version de la BDLISA |
| | Recherche de contenus non référencés dans les nomenclatures SANDRE |
| Géographique | Contrôle de la cohérence spatiale des polygones sur ArcGIS® et PostGIS |
| | Contrôle de la géométrie des entités hydrogéologiques (tailles et formes incohérentes) |
| | Comparaison des géométries pour chaque entité |
| | Analyse de la complétude des couches géographiques |

5.2. EVOLUTION ET TRAÇABILITE

Après une phase de construction de 10 ans, la version 1 du référentiel est le fruit d'une consolidation de trois ans basée sur :

- le recueil des anomalies et de corrections proposées par les utilisateurs de la BDLISA (hydrogéologues de région, de bureaux d'études...) ;
- les propositions d'amélioration réfléchies et concertées lors des Groupes de Travail nationaux et lors de « journées techniques » ciblées sur des problématiques méthodologiques spécifiques (p. ex. karsts, alluvions).

5.2.1. Les corrections d'anomalies

Les anomalies rencontrées par les utilisateurs du référentiel sont enregistrées et suivies dans une forge logicielle nommée « Forge BDLISA » et accessible sur <https://forge.eaufrance.fr/BDLISA/>. Une forge est un système de gestion pour le développement collaboratif de logiciels. Son objectif est de faciliter le développement d'un logiciel ou d'un projet informatique en partageant entre autres le code source et sa documentation (sous forme d'un wiki par exemple). Dans le cadre de la BDLISA, ce sont les fonctionnalités pour gérer les demandes de corrections qui sont surtout sollicitées.

Ainsi, le logiciel a été mis en place en 2014 pour centraliser les remarques et corrections proposées par les utilisateurs. Cet outil permet d'analyser les demandes, d'échanger avec les contributeurs et de suivre l'évolution des modifications. Pour faciliter la gestion des demandes (classement, organisation et analyse), le formulaire de demande propose une liste de champs à compléter (voir tableau 13).

Tableau 13 – Nom et description des champs utilisés pour décrire une demande sur la Forge

| Nom du champ | Description |
|----------------------|---|
| Tracker | Type de demande : modification, création ou suppression d'une entité |
| Sujet | Champ libre. Sujet de la demande |
| Description | Champ libre. Description dans le détail de la demande |
| Type de modification | Géométrique ou attributaire |
| Le nom du bassin | Sur quel bassin hydrographique se trouve l'entité. Si l'entité est à cheval sur plusieurs bassins, les autres bassins peuvent être indiqués dans bassin complémentaire. |
| Code entité BDLISA | Code de la ou des entité(s) concernée(s) par la demande |

Une gouvernance dans la gestion des demandes a été mise en place pour établir un ensemble de démarches à suivre lors de l'identification d'un nouveau besoin (voir figure 14). La gestion d'une nouvelle demande suit les étapes décrites ci-dessous :

1. une demande de modification est adressée de la part d'un utilisateur de la BDLISA ;
2. la demande est remontée par le référent du bassin concerné par la demande ;
3. une réponse est concertée entre le référent du bassin, le chef de projet de la BDLISA et un expert du bassin (hydrogéologue de l'agence de l'eau ou de la DREAL) ;
4. L'envoi de la réponse est réalisé par le rapporteur ;
5. La réponse à la demande de l'utilisateur est enregistrée dans la table des suivis de demande de la Forge.

Ainsi, chaque modification apportée sur la BDLISA est enregistrée dans une table afin de garder l'historique des modifications sur la délimitation des entités hydrogéologiques. Cette table, appelée « table généalogie », est fournie avec la BDLISA lors du téléchargement de la base.

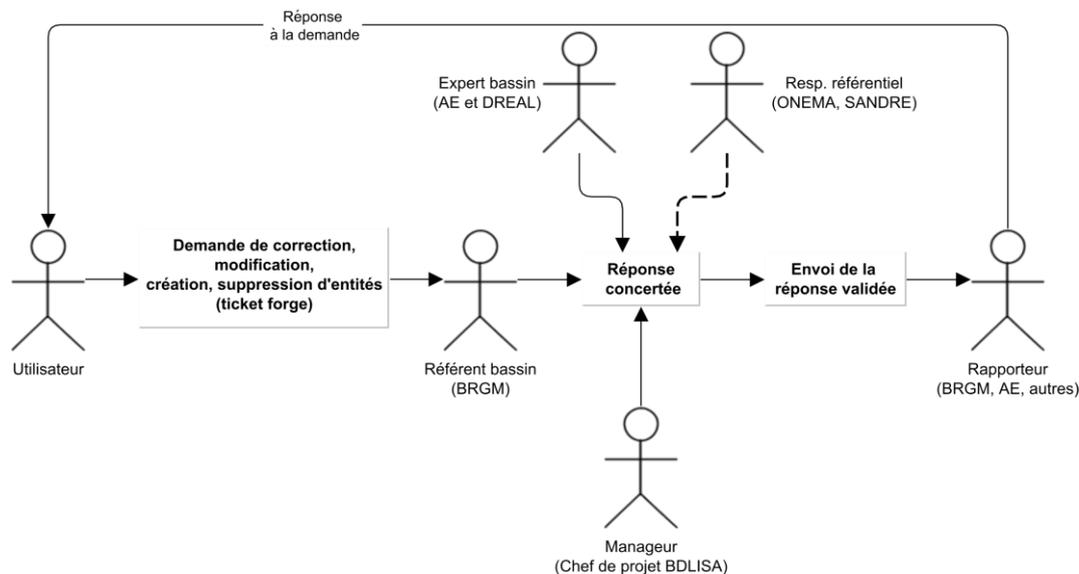


Figure 14 – Organigramme de gouvernance d'une demande sur la forge BDLISA.

A titre d'exemple, plus de **340 demandes** de corrections ont été traitées lors de la construction de la version 1, allant de la simple modification attributaire jusqu'à des corrections géométriques importantes. L'utilisation de la forge par les hydrogéologues régionaux contribue ainsi à l'amélioration permanente du référentiel.

5.2.2. Les propositions d'amélioration

Le retour d'expérience des utilisateurs amène parfois des réflexions pour un changement structurel profond de la BDLISA. Dans ces conditions, un groupe de travail composé de différents spécialistes est mis en place pour apporter une base de travail documentaire et technique à l'amélioration de la BDLISA. Ce travail est ensuite soumis à l'ensemble des acteurs régionaux de la BDLISA lors de journées techniques où la méthodologie proposée est débattue. La version 1 intègre ainsi les réflexions menées par des groupes de travail nationaux sur les alluvions productives et les entités karstiques.

5.3. DIFFUSION ET MISE A DISPOSITION DE LA BDLISA

La BDLISA est mise à la disposition du grand public et des professionnels sous différentes formes. Son contenu est diffusé sous forme de services-web et le référentiel est en téléchargement libre pour une utilisation dans un SIG. La diffusion de la BDLISA intervient à la suite de la validation du référentiel par le SANDRE (cf. § 5.1).

Pour plus d'informations sur l'utilisation et la structuration des données de la BDLISA, le lecteur intéressé peut consulter le [scénario d'échange de données géographiques](#)¹² construit par le SANDRE. Une description de ce document est proposée dans le paragraphe 5.4.

¹² http://www.reseau.eaufrance.fr/geotraitements/sites/default/files/avertissement_utilisation_BDLISA_version_1.pdf

5.3.1. La création de fichiers compressés pour le téléchargement

La Direction des Systèmes d'Information du BRGM prépare plusieurs fichiers compressés pour faciliter le téléchargement de la BDLISA sur le site du SANDRE. Ces fichiers contiennent plusieurs types de formats de gestion de données géographiques avec les systèmes de projection cartographique en vigueur (Lambert 93 en métropole et Corse et systèmes spécifiques dans les DROM). Ils s'accompagnent de l'ensemble de ces données :

- les polygones et données attributaires de l'entité (différents formats) ;
- les métadonnées au format XML ISO 19115 (format INSPIRE) et au format PDF ;
- la fiche descriptive des entités hydrogéologiques en format PDF ;
- le tableau de généalogie présentant les modifications apportées aux entités hydrogéologiques.

5.3.2. Mise à disposition des services-web cartographiques

Les informations relatives aux entités hydrogéologiques BDLISA sont également accessibles à travers des services-web cartographiques¹³ et des applications métiers.

La diffusion de la BDLISA sous forme de services-web est réalisée avec le couplage d'un serveur-web et d'un gestionnaire de métadonnées (fichier décrivant la donnée). Les protocoles de communication générés sont des services web normalisés par l'Open Geospatial Consortium (OGC). Les données diffusées sont interopérables et permettent à un utilisateur de SIG bureautique de combiner et traiter sur son poste, des données venant de sources distantes et/ou locales.

Il existe plusieurs services-web cartographiques BDLISA :

- **Les services basés sur le protocole Web Feature Service (WFS) :** Ce protocole diffuse des données au format vectoriel et contient les données attributaires associées aux objets géographiques. Il existe un service pour chaque entité hydrogéologique de niveaux 1, 2 et 3. Ainsi, l'adresse du service dépend du numéro de l'entité hydrogéologique recherchée comme par exemple avec l'entité « Socle du Massif Armoricain dans le bassin versant de l'Oust et ses affluents » codée 199 : « <http://www.reseau.eaufrance.fr/geotraitements/bdlisa/services/carto/199?> ». Ce service diffuse l'extension géographique de cette entité et ses caractéristiques (dont l'ordre stratigraphique).
- **Les services basés sur le protocole Web Map Service (WMS) :** Ce protocole diffuse des données au format raster. Il existe un service WMS pour chacun des critères caractérisant une entité hydrogéologique. Le niveau de visualisation (NV1, NV2 et NV3) est relié au niveau de zoom. Pour plus de détails sur les services web, le lecteur intéressé peut consulter la [page web](#)¹⁴ consacrée aux différents services de valorisation de la BDLISA.

Ces services-web sont consultables via un SIG bureautique et peuvent être exploités sur des applications web. Un site web de démonstration de la BDLISA a été mis en place (<http://www.reseau.eaufrance.fr/geotraitements/>) pour faciliter l'exploitation des données de la

¹³ Les services-web cartographiques sont des protocoles de diffusion de données normalisées qui permettent d'assurer l'interopérabilité du partage des données géographiques

¹⁴ <http://www.reseau.eaufrance.fr/geotraitements/content/les-services-de-valorisation-de-la-bd-lisa#service-ogcwps-bdlisa>

BDLISA, il contient un visualiseur et des applications qui exploitent les services web-cartographiques, parmi lesquelles :

- Les fiches de synthèses : cette application offre à l'utilisateur la possibilité de consulter une fiche de synthèse d'une entité hydrogéologique sélectionnée sur l'outil de cartographie en ligne (voir figure 15).

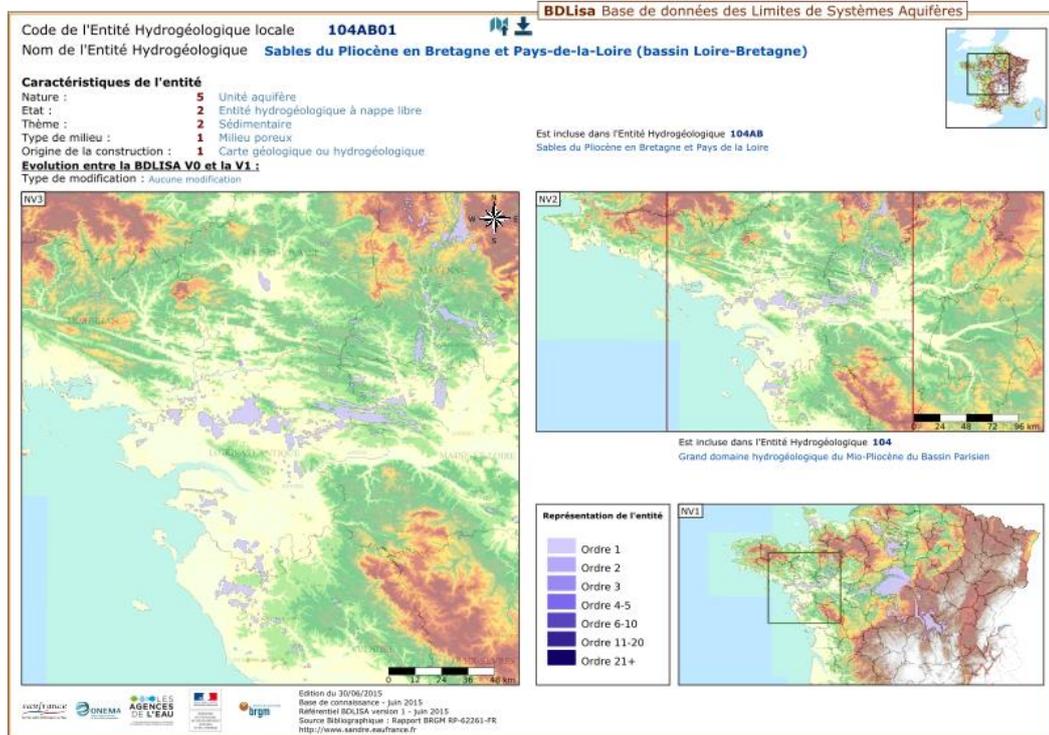


Figure 15 – Sortie d'écran d'une fiche de synthèse pdf

- Les logs hydrogéologiques : l'outil de visualisation permet d'afficher le log des entités hydrogéologiques en un point donné. L'application affiche l'ensemble des entités hydrogéologiques à la verticale pour les niveaux de visualisation. Les propriétés de ces entités sont également consultables à travers une représentation dynamique des attributs (voir figure 16).

Ces deux outils sont également accessibles à travers d'autres sites web, comme par exemple les SIGES régionaux ou de bassin.

Log hydrogéologique BDLISA

Localisation du log :
 Longitude : 1,89
 Latitude : 46,86
 Département :
 Commune : SAINTE-FAUSTE



Comprendre ?

Version du référentiel BDLISA utilisé : Version 1

En passant la souris sur un des codes d'entité, le nom de l'entité s'affiche.

Date d'édition du log BDLISA : 27/08/2015

Vous pouvez changer l'affichage des propriétés des entités en sélectionnant ci-dessous l'attribut choisi (nature, état, ...)

| Entités hydrogéologiques | | |
|---|----------|----------|
| Niveau 3 | Niveau 2 | Niveau 1 |
| 104AA01 | 104AA | 104 |
| 137AB99 | 137AB | 137 |
| 139AD01 | 139AD | |
| Calcaires de l'Aalénien-Bajocien du Bassin Parisien | | |
| 139AP99 | 139AP | |
| 141AB99 | 141AB | 141 |
| 141AC01 | 141AC | |
| 141AC03 | | |
| 141AG05 | 141AG | 145 |
| 143AD99 | 143AD | |
| 143AB99 | 143AB | |

Propriétés des entités hydrogéologiques

NATURE
 ETAT
 MILIEU
 THEME

LEGENDE NATURE

NIV1

-  Grand système multicouche
-  Grand domaine hydrogéologique

NIV2

-  Système aquifère
-  Domaine hydrogéologique

NIV3

-  Unité aquifère
-  Unité semi-perméable
-  Unité imperméable

Figure 16 – Exemple d'un log des entités hydrogéologiques interrogé sur le site Géotraitement. L'application est interactive, les propriétés des entités hydrogéologiques sont consultables sur la même page.

5.4. LA DOCUMENTATION DU PROJET BDLISA

La diffusion d'une donnée nécessite un accompagnement pour faciliter sa compréhension et son exploitation. Lors de sa diffusion, la BDLISA est assortie de plusieurs documents pour décrire l'organisation du référentiel et ses données associées. Ce travail est réalisé en partie par le SANDRE, l'organisme responsable de la diffusion de la BDLISA et qui, plus largement, a pour mission d'établir et de mettre à disposition le référentiel des données sur l'eau du SIE.

5.4.1. Les documents du SANDRE

Le référentiel BDLISA est un outil du Système d'Information sur l'Eau (SIE) dont une tâche essentielle est la mise en place d'un langage commun pour les données sur l'eau. À cette fin, le SANDRE est chargé :

- d'élaborer les dictionnaires des données, d'administrer les nomenclatures communes au niveau national, d'établir les formats d'échanges informatiques de données, de définir des scénarios d'échanges et de standardiser des services WEB ;
- de publier les documents normatifs après une procédure de validation par les administrateurs de données SANDRE.

Deux documents normatifs accompagnent la sortie d'une nouvelle version de la BDLISA, le scénario d'échange et le dictionnaire de données associé.

Le scénario d'échange

Le [scénario d'échange de données géographiques de la BDLISA¹⁵](#) est un document élaboré dans le cadre d'un groupe de travail dont le secrétariat est assuré par le SANDRE et auquel ont participé l'ONEMA, les Agences de l'Eau et le BRGM. Le document s'appuie sur l'un des formats d'échanges du SANDRE et détaille la sémantique échangée, décrit les données échangées (obligatoires et facultatives), la syntaxe du ou des fichiers d'échanges et les modalités techniques et organisationnelles de l'échange.

Concrètement, ce document fournit l'ensemble des informations utiles pour exploiter la BDLISA. **Il décrit la signification des codes associés aux tables attributaires** et précise les différents systèmes de projection utilisés.

Le scénario d'échange repose sur le dictionnaire de données de la BDLISA présenté dans le paragraphe suivant.

¹⁵

http://www.reseau.eaufrance.fr/geotraitements/sites/default/files/avertissement_utilisation_BDLISA_version_1.pdf

Le dictionnaire de données

Le dictionnaire des données est le recueil des définitions qui décrivent et précisent la terminologie et les données disponibles pour un domaine en particulier. Plusieurs aspects de la donnée y sont traités :

- sa signification ;
- les règles indispensables à sa rédaction ou à sa codification ;
- la liste des valeurs qu'elle peut prendre ;

Le document rassemble ainsi les éléments du langage des acteurs d'un domaine en particulier. Le dictionnaire des données associé au référentiel BDLISA est disponible à cette [adresse](#)¹⁶ (format pdf) ou cette [adresse](#)¹⁷ (pages html).

Nota bene : Les règles de gestion et d'administration des différentes données attributaires feront l'objet désormais d'un document spécifique qui pourra être intégré dans le dictionnaire de données.

5.4.2. Les métadonnées

Une métadonnée est un ensemble d'informations descriptives des données ou des services de données, rendant possible leur recherche, leur inventaire et leur utilisation. Les métadonnées sont essentielles pour le bon fonctionnement d'un système de diffusion de données géographiques.

Les fiches de métadonnées associées à la publication des services-web de la BDLISA respectent les instructions de la directive INSPIRE. Ces fiches sont moissonnées¹⁸ vers le site institutionnel de consultation des métadonnées qu'est le [GéoCatalogue](#).

¹⁶ http://sandre.eaufrance.fr/ftp/documents/fr/ddd/saq/2.0/sandre_dictionnaire_SAQ_2.pdf

¹⁷ <http://www.sandre.eaufrance.fr/urn.php?urn=urn:sandre:dictionnaire:SAQ:FRA::ressource:2.0::html>

¹⁸ Le moissonnage est un processus informatique permettant la réplique d'une donnée d'un système dans un autre système de façon automatique et en série, le plus souvent à l'aide d'un service web. Il est utilisé pour permettre aux catalogues de données d'échanger leurs contenus, en offrant la possibilité de filtrer les jeux de métadonnées sur des thèmes choisis.

6. Synthèse sur les évolutions apportées par la version 1

Les modifications produites sur la nouvelle version de la BDLISA découlent du processus de consolidation du référentiel détaillé dans le paragraphe 5.2. Ce chapitre vise à répertorier et analyser les principales évolutions de la version 1 de la BDLISA. Une première section décrit les évolutions quantitatives du référentiel en présentant le nombre d'entités modifiées par niveau d'observation. Une deuxième section s'attarde sur l'analyse des types de modifications apportées sur les entités hydrogéologiques. La troisième section expose les modifications « structurelles » et enfin la dernière section développe la mise en place de l'outil d'inventaire des modifications.

6.1.1. Evolution quantitative du référentiel

Les projets d'amélioration menés par des groupes nationaux et la centralisation des anomalies rencontrées dans la BDLISA ont permis d'améliorer le référentiel. Cette section décrit les évolutions entre la version 0 et la version 1 du référentiel.

Evolution en France métropolitaine

L'évolution du nombre d'entités classées selon les thèmes géologiques est représentée à travers les histogrammes de la figure 17. Celle-ci montre une augmentation du nombre d'entités hydrogéologiques par niveau de visualisation et entre les deux versions de la BDLISA. Le nombre d'entités est passé :

- de 145 à 180 pour le niveau 1 ;
- de 719 à 870 pour le niveau 2 ;
- de 1993 à 2356 entités pour le niveau 3.

Cette augmentation est essentiellement due à l'ajout des alluvions productives dans les entités principales de la BDLISA. La figure 17 montre clairement l'impact de cet ajout dans l'évolution du nombre d'entités entre les versions 0 et 1 de la BDLISA. Elle montre également que les entités hydrogéologiques sont mieux caractérisées car il n'y a pas d'attribut « inconnu » associé au thème géologique dans la nouvelle version de la BDLISA.

Evolution dans les régions d'Outre-Mer

Les évolutions entre les versions 0 et 1, dans les départements et régions d'outre-mer, exposées dans la figure 18, sont mineures. Dans le détail, le niveau 2 est passé de 65 à 67 entités et le nombre d'entités au niveau 3 a évolué en passant de 131 à 137 entités. Le nombre d'entités de niveau 1 est resté inchangé car il correspond au contour géographique des régions d'outre-mer.

La figure 18 révèle également la part logiquement importante des thèmes volcanique et socle dans les régions d'outre-mer. Les formations sédimentaires sont faiblement représentées et sont confinées aux bandes côtières de la Guyane et dans la formation volcano-sédimentaire de Grande Terre en Guadeloupe.

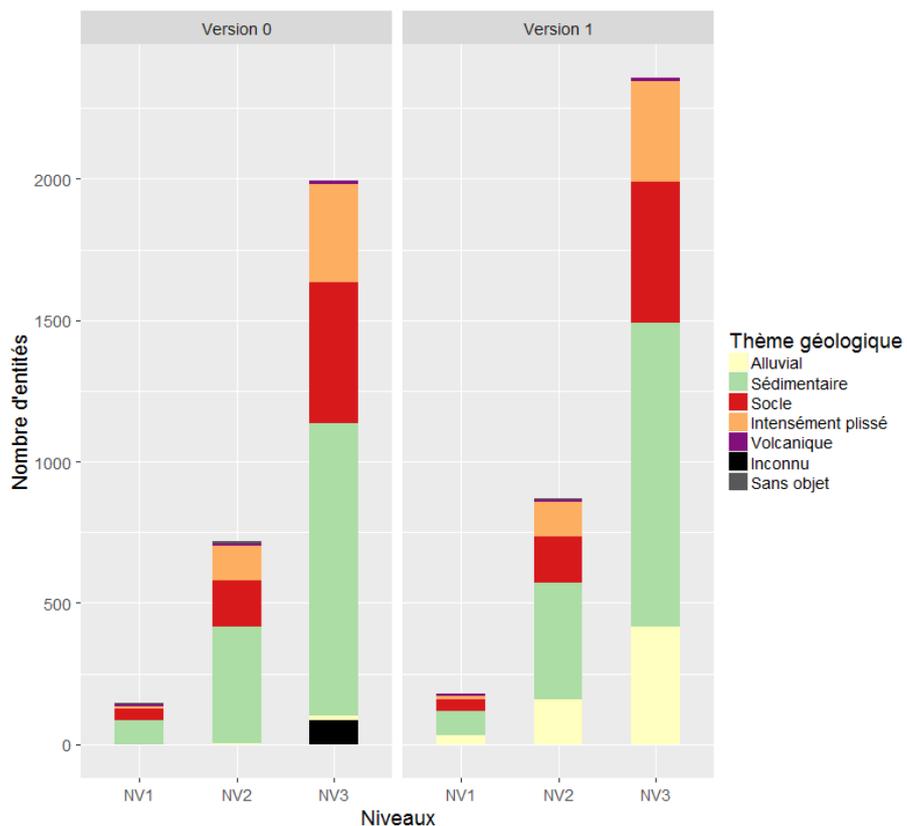


Figure 17 – Nombre d'entités hydrogéologiques par niveau de visualisation entre les versions 0 et 1 de la BDLISA en France métropolitaine

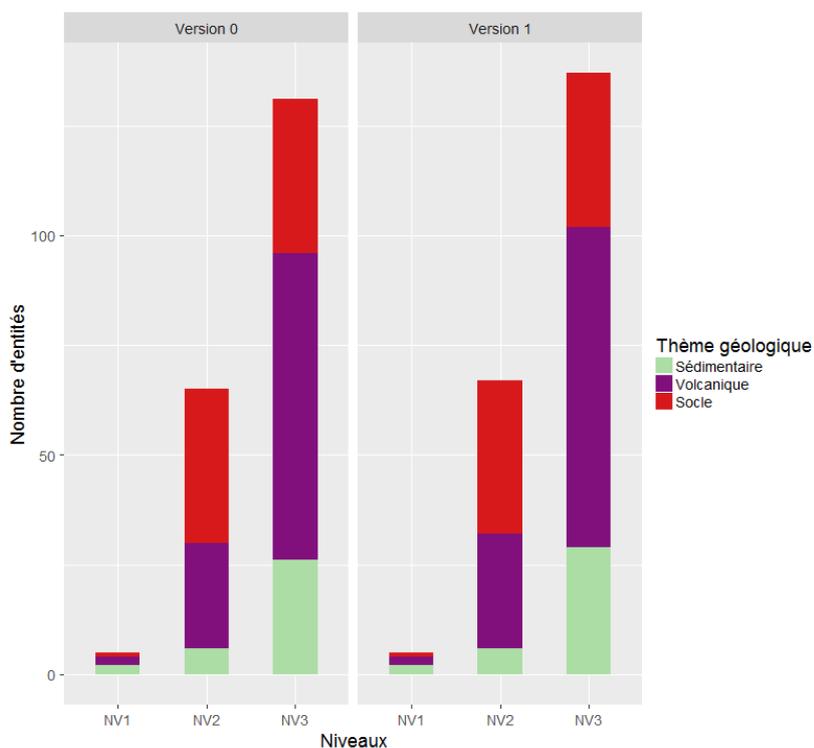


Figure 18 – Nombre d'entités hydrogéologiques par niveau de visualisation et thème géologique entre les versions 0 et 1 de la BDLISA dans les régions d'outre-mer

6.1.2. Analyse des corrections et modifications apportées à la BDLISA

La répartition des différents types de modifications apportées entre la version 0 et la version 1 présentée sur le tableau 14 apporte des éléments sur l'évolution du référentiel. Au total, 30% des entités hydrogéologiques ont été modifiées et la moitié de ces modifications correspond à une correction d'ordre attributaire. La création de nouvelles entités (principalement les alluvions, comme relaté dans le précédent chapitre) correspond à environ 17% des modifications apportées. Ce type de modification s'appuie sur la nomenclature 590 SANDRE (voir cf. § 6.1.4).

Tableau 14 – Proportion des différents types de modifications apportées aux entités hydrogéologiques. Selon la table généalogie de la BDLISA V1

| Type de modification | Pourcentage |
|--|-------------|
| Division | 0,1 |
| Fusion | 1,4 |
| Recodification | 0,2 |
| Gel | 0,5 |
| Mise à jour mineure d'informations géographiques | 8,5 |
| Mise à jour mineure d'informations attributaires | 13,6 |
| Création | 16,6 |
| Aucune modification | 59,1 |

Ces différents types de modifications se répartissent de manière inégale sur le territoire (figure 19). Les modifications apportées dans les bassins dépendent de la taille du bassin, du nombre d'interlocuteurs et des différents travaux ayant cours en leur sein.

La Corse est le seul bassin où toutes les entités hydrogéologiques ont été modifiées. Ces modifications sont essentiellement d'ordre attributaire (95%) et s'expliquent essentiellement par le travail de délimitation des Masses d'Eaux SOuterraines (MESO) effectué dans le bassin « Rhône-Méditerranée-Corse ». En effet, les réflexions apportées sur l'amélioration du découpage des MESO et les correctifs qui en découlent se déclinent également sur les entités hydrogéologiques de la BDLISA pour assurer la cohérence des deux référentiels. Ces changements sont ainsi visibles dans le bassin Rhône-Méditerranée (figure 19) où 207 entités ont été modifiées dont 13% ont fait l'objet d'une mise à jour géographique. Ces correctifs sont toujours en lien avec le redécoupage des masses d'eau.

Le bassin Loire-Bretagne se distingue également par une importante proportion de mises à jour attributaires. Les raisons de ces mises à jour peuvent également s'expliquer par les actions de redécoupage des MESO menées en Loire-Bretagne.

119 entités hydrogéologiques ont été rectifiées dans le bassin Adour-Garonne. Ce bassin comporte la part la plus importante de mises à jour géographiques (15%). Ce constat s'explique par la mise à jour et l'affinage du modèle hydrogéologique MONA (MOdèle hydrodynamique Nord-Aquitain). Cette amélioration du modèle a été retranscrite sur les contours des entités hydrogéologiques.

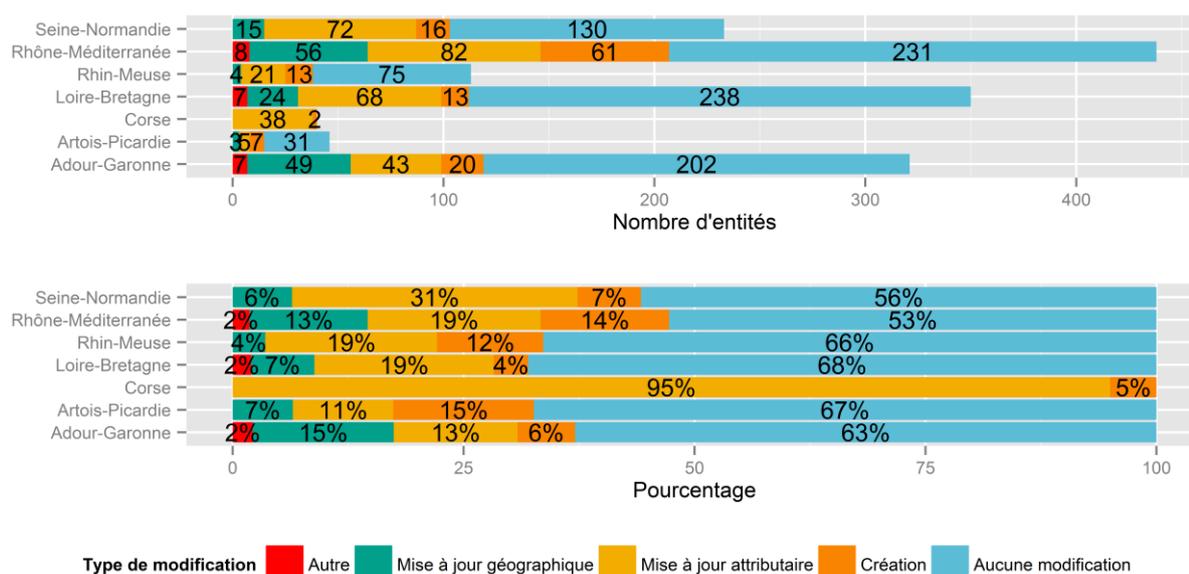


Figure 19 – Type de modification apportée sur les entités de niveau 3 pour les différents bassins hydrographiques de la France métropolitaine. Le diagramme du haut présente le nombre d'entités et le diagramme du bas affiche les proportions de chaque type de modification.

6.1.3. La surcouche karst et les alluvions productives

La création de la surcouche karst et l'ajout des alluvions productives dans les entités principales de la BDLISA sont les évolutions majeures de la version 1. Ces évolutions « structurelles » proviennent de travaux portés par des groupes de travail à l'échelle nationale.

La surcouche karst

Auparavant, le référencement des entités karstiques était trop hétérogène pour être facilement valorisé, par endroit retranscrit sous la forme d'un attribut spécifique des entités principales et à d'autres, individualisé en entité complémentaire. La version 1 intègre désormais une nouvelle couche des entités karstiques pour faciliter leur représentation à l'échelle de la France. La figure 20 a) propose une cartographie de cette couche. Les zones de karst recouvrent une grande partie du territoire et se situent principalement dans les grands bassins sédimentaires (un peu de karst est retrouvé dans l'intensément plissé des Pyrénées et des Alpes).

Les alluvions productives

La question des formations alluviales a également été abordée avec le même esprit. En effet, elles étaient définies en entités principales ou en entités complémentaires selon des caractéristiques disparates à l'échelle du territoire. Dans un objectif d'harmonisation, un groupe de travail national a défini des règles structurantes visant à identifier les alluvions productives et à les intégrer dans des entités principales.

La figure 20 b) montre la cartographie des entités classées dans le thème des alluvions. Les alluvions du réseau hydrographique des grands fleuves de métropole sont bien représentées ainsi que les alluvions rhénanes d'Alsace. La Corse comporte peu d'alluvions productives en raison de son contexte géologique. De même, il n'y a pas d'alluvions productives dans les régions d'outre-mer.

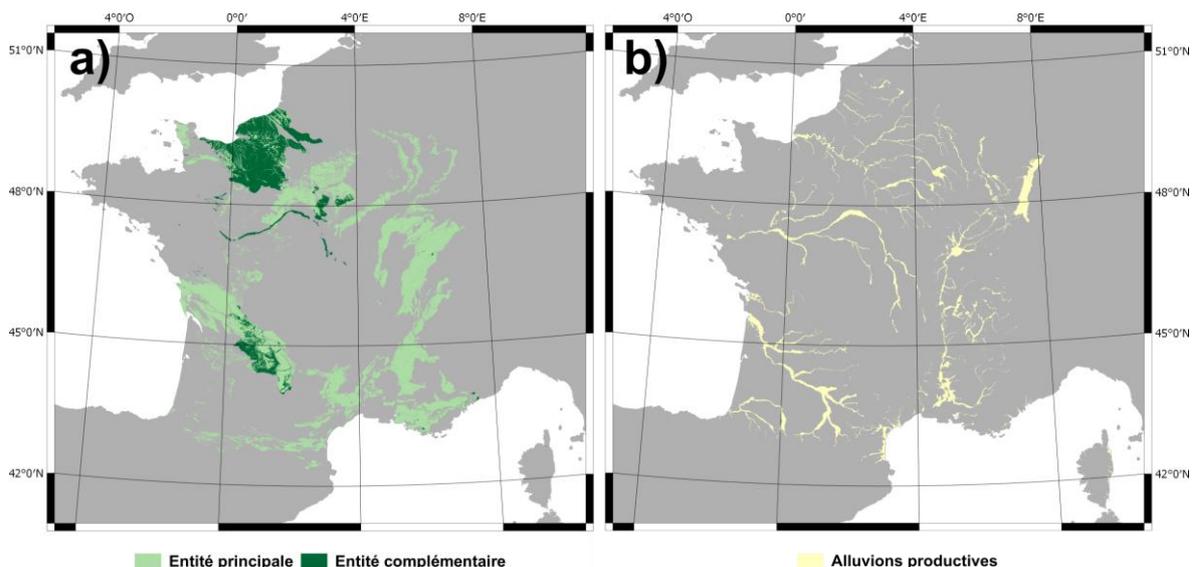


Figure 20 – Cartographie des nouveautés apportées par la version 1 de la BDLISA. a) surcouche karst et b) Alluvions productives au niveau 3.

Ces travaux sur les alluvions productives ont été réalisés par les hydrogéologues de région en collaboration, quand cela fut possible, avec les hydrogéologues des agences de l'eau.

6.1.4. Mise en place d'une table répertoriant les évolutions par entité

Pour garder une traçabilité des modifications décrites dans les sections précédentes, une table appelée « généalogie » a été associée à la sortie de la version 1 du référentiel. Pour la première fois, les corrections apportées aux entités hydrogéologiques par rapport à la version précédente de BDLISA sont consignées dans une table qui est mise à disposition des utilisateurs.

La table comporte, entre autres, un champ libre permettant de commenter librement les modifications et un champ qui classe les modifications selon la nomenclature 590 du SANDRE. Le tableau 15 présente les différents champs de cette table et la signification des codes du champ « TypeGenEH » est décrite dans la nomenclature 590 du [SANDRE](#)¹⁹.

Tableau 15 – Description des champs de la table généalogie

| Nom du champ | Description |
|---------------|---|
| CodeEH_parent | Numéro de l'entité hydrogéologique parent |
| CodeEH_enfant | Numéro de l'entité hydrogéologique enfant |
| DateGenEH | Date de modification |
| TypeGenEH | Type de modification (nomenclature SANDRE 590) |
| Commentaire | Champ libre pour décrire les modifications apportées à l'entité |

¹⁹ <http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:590::::::referentiel:3.1:html>

7. Exemple d'applications et d'usages de la BDLISA

Ce chapitre liste certains cas d'utilisation de la BDLISA identifiés à l'issue d'une recherche et d'une petite enquête menée auprès de quelques bureaux d'études contactés directement. Les applications de la BDLISA visibles sur Internet mettent en relief la forte utilisation du référentiel par les hydrogéologues du BRGM, essentiellement par le biais des rapports de service public, librement accessibles sur internet. On retrouve de manière beaucoup plus disparate des applications portées par des chercheurs dans des organismes de recherche et des hydrogéologues agréés. Enfin, les travaux des bureaux d'études sont logiquement beaucoup moins visibles.

7.1. DES APPLICATIONS EN APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES SUR L'EAU

En fournissant un cadre scientifique dans les contours et les caractéristiques des entités hydrogéologiques, la BDLISA apporte une source d'informations incontournable dans les projets d'appui aux politiques publiques dans le domaine de l'eau.

7.1.1. Les rapports d'expertise

L'inondation par remontée de nappe est un phénomène qui se produit lorsque le niveau de la nappe souterraine libre dépasse les niveaux maxima annuels habituels et déborde au-dessus du sol. Ces remontées peuvent se traduire par le déclenchement de coulées de boues ou d'inondations dans des secteurs inattendus et occasionner des dégâts matériels importants. Dans le cadre de ces missions de service public, les directions régionales du BRGM peuvent être sollicitées par les préfets pour conduire des rapports d'expertise dans les cas d'inondations liées à une remontée de nappe. Dans ce contexte, la BDLISA fournit des éléments hydrogéologiques pour aider les experts à identifier les causes de l'inondation. A titre d'exemple, les inondations observées à Plouguerneau et à Naizin ont été diagnostiquées avec l'aide du référentiel (Craustes de Paulet, 2014 ; Neveux, 2014).

7.1.2. Vulnérabilité et risque vis-à-vis des eaux souterraines

La BDLISA est également employée dans le cadre de Schémas Directeurs d'Aménagement et Gestion de l'Eau (SDAGE). Une disposition du SDAGE définit des nappes à réserver à l'alimentation en eau potable. Un exemple pris dans le Bassin Loire Bretagne montre qu'une amélioration des contours de ces nappes a pu être réalisée pour fournir une cartographie plus précise et répondre ainsi aux besoins des services de l'état. La réalisation de cette cartographie s'est basée sur les contours des entités hydrogéologiques de la BDLISA (Salquèbre, 2013).

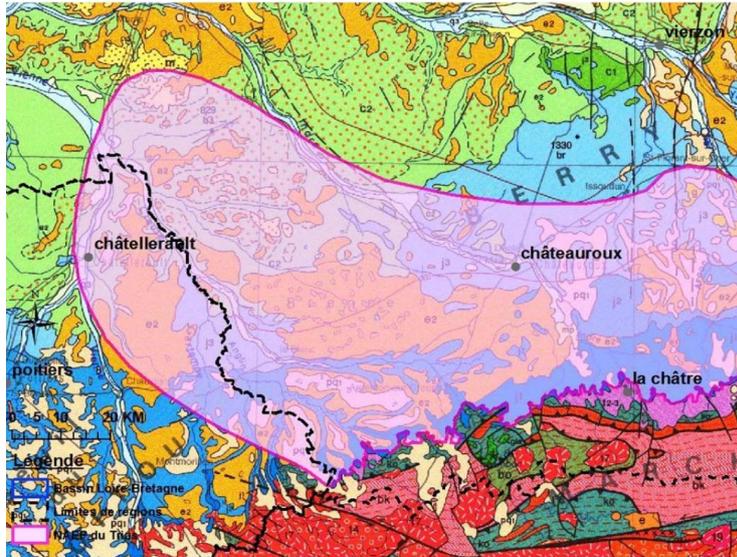


Figure 21 – Contour de la nappe à réserver à l'alimentation en eau potable (en rose) dans un secteur du SDAGE du bassin Loire-Bretagne, d'après Salquère (2013)

Cette même méthode a été mise en place également dans le cadre du SDAGE du bassin Seine-Normandie pour délimiter les ressources en eau stratégiques (Bel, 2015). Là aussi, la méthode s'appuie sur la BDLISA, notamment pour :

- rattacher les points d'eau à l'alimentation en eau potable aux aquifères identifiés dans la BDLISA ;
- cartographier le contour des zones de sauvegarde.

Dans un contexte similaire, la BDLISA a été employée pour la caractérisation fine de la vulnérabilité des captages en eau potable en région Aquitaine. Mazurier et al. (2012) se sont appuyés sur des facteurs hydrogéologiques en partie fondés sur les entités de la BDLISA pour produire une carte détaillée de la vulnérabilité des captages destinés à l'Alimentation en Eau Potable (AEP).

Nguyen-Thé, 2012 a utilisé la BDLISA pour présenter le contexte hydrogéologique dans la mise en place d'un SAGE.

On retrouve une démarche semblable dans le cadre des aquifères côtiers. Ces aquifères constituent des ressources d'eau souterraine importantes pour les populations et les écosystèmes. Leur particularité réside dans leur contact hydrogéologique direct avec les eaux marines, constituant une zone de rencontre appelée « biseau salé ». Cette salinisation partielle des eaux souterraines des aquifères littoraux est un phénomène naturel qui peut être amplifié par la surexploitation de l'aquifère et/ou par une modification du niveau marin, lié par exemple au changement climatique. Pour appréhender cette menace sur la qualité de l'eau douce disponible, une cartographie du risque des aquifères côtiers à l'intrusion marine a été mise en œuvre par Dörflinger et al. (2011). Dans ce travail les contours des aquifères de la BDLISA ont été extraits et la sensibilité vis-à-vis de l'intrusion saline d'origine naturelle a été estimée à partir des informations sur la nature des formations géologiques rencontrées.

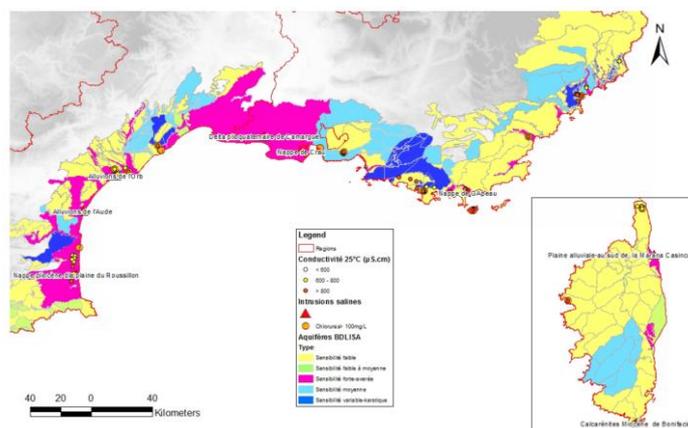


Figure 22 – Carte de vulnérabilité générale des aquifères côtiers vis-à-vis de l'intrusion marine pour la côte méditerranéenne, d'après Dörfliger et al., 2011

7.1.3. Une aide dans les objectifs fixés par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE)

La DCE adoptée en 2000 vise à établir une politique communautaire cohérente dans le domaine de l'eau. L'objectif majeur de la DCE est d'atteindre un bon état des différents milieux aquatiques sur tout le territoire européen. Les Masses d'Eau Souterraines (MESO) constituent aujourd'hui les unités de gestion sur lesquelles s'appliquent toutes les dispositions de la DCE en matière de gestion quantitative et qualitative des eaux souterraines. Le découpage réalisé en 2004 a été mené sur la base d'un nombre prédéfini de masses d'eau et du premier référentiel hydrogéologique français, la BDRHF (Chadourne, 2003). Si elles étaient pertinentes au moment de la détermination du référentiel, elles n'en demeurent pas moins aujourd'hui insuffisantes au regard des progrès réalisés depuis 2004.

La mise en œuvre de la DCE est itérative, chaque cycle et chaque rapportage imposent de tenir compte des progrès réalisés et des nouvelles connaissances acquises. Dans ce contexte, la nouvelle version de la BDLISA représente une nouvelle source d'amélioration du découpage des MESO. Le guide méthodologique publié en 2013 par Brugeron et Schomburgk (2013) présente l'ensemble des recommandations et des règles d'usage pour la cartographie et l'identification des MESO en conformité avec la DCE. Il présente également une synthèse des travaux (menés sur certains bassins) d'ajustement des limites de leurs MESO sur la base des entités du référentiel BDLISA V0. La méthode en question a par exemple été appliquée dans le bassin Loire-Bretagne (Schomburgk et al., 2012).

7.1.4. La prospection géothermique

Dans un contexte d'envolée des prix de l'énergie et une nécessité de réduire l'empreinte écologique des activités humaines, le recours aux énergies vertes offre une alternative intéressante, particulièrement lorsque celles-ci présentent un caractère local et que leur viabilité économique est prouvée. Les entités hydrogéologiques de la BDLISA sont utilisées dans de nombreux projets de prospection géothermique pour identifier, caractériser et modéliser le potentiel géothermique des aquifères d'une région (Durst et al., 2011 ; Maton et al., 2012 ; Poux et al., 2012).

7.2. UNE SOURCE D'INFORMATION A DESTINATION DE L'ENSEMBLE DES PROFESSIONNELS DU SECTEUR DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

La BDLISA est également une source d'informations pour les bureaux d'études et les organismes scientifiques de recherche tels que le CNRS et les universités. En tant que référentiel, il est généralement utilisé pour décrire le contexte hydrogéologique d'une zone d'étude. C'est le cas, par exemple, pour une étude d'impact sur l'extension d'une carrière (Geoscop, 2014) ou un avis d'expert sur l'extension d'un cimetière (Galia, 2014). Ce type d'utilisation est également retrouvé dans le cadre de travaux de recherches en lien avec l'eau et le changement climatique (Fock, 2013 ; Bouroullec et al., 2014 ; Magand, 2014), la compréhension des écoulements dans une aire d'alimentation (Gourcy et al., 2014) ou encore la quantification de la contribution des eaux souterraines sur les débits de la Loire (Lalot et al., 2015).

Des applications pratiques émergent également grâce aux données de la BDLISA. Par exemple, l'utilisation des mâchefers en technique routière est encadrée par une réglementation qui impose d'exclure certaines zones pour des raisons environnementales (en dehors des zones inondables, en dehors des périmètres de protection rapprochés des captages d'alimentation en eau potable, proches de karst affleurant ...). Un bureau d'étude a donc mis en place un service cartographique en ligne pour aider les exploitants de mâchefers d'incinération. Ce service s'appuie sur la BDLISA pour afficher les zones d'exclusion liées à l'utilisation de ces mâchefers.

La BDLISA est également un support pour construire des modèles hydrogéologiques. Ces modèles fournissent des outils d'aide à la décision destinés à définir au mieux les stratégies d'exploitation des ressources en eaux souterraines d'une région. C'est pour répondre à ce besoin que le MOdèle hydrodynamique Nord-Aquitain (MONA) a été développé dans les années 90 puis qu'il s'est enrichi des différentes versions de la BDLISA (Saltel et al., 2011). On retrouve aussi des modèles similaires dans les régions du Centre-Val de Loire et d'Ile-de-France. Ces modèles ont été développés avec les données de la BDLISA, notamment avec l'apport de la description stratigraphique des entités hydrogéologiques (voir figure 5a). Le résultat final permet de disposer, à partir d'un maillage donné, des côtes altimétriques des toits et murs des formations géologiques modélisées (voir la figure 5b), qui, en les associant à la BDLISA, permettent également de développer des outils de communication (voir chapitre 7.3.1).

Bien que la valorisation de la BDLISA à l'international soit pratiquement inexistante, sa méthodologie et son modèle conceptuel se sont avérés également être des sources d'informations intéressantes pour certains organismes étrangers souhaitant mettre en place une base de données des systèmes aquifères. C'est le cas du Québec où le centre d'études sur les ressources minérales de l'Université du Québec à Chicoutimi a réalisé un projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines à l'échelle d'un territoire communal (Cerm-paces, 2015). Pour cartographier les entités hydrogéologiques, l'équipe s'est basée sur la méthode mise en œuvre pour l'élaboration du référentiel BDLISA en l'adaptant au contexte hydrogéologique du Québec méridional. On retrouve dans le produit final les principales caractéristiques de la BDLISA :

- trois niveaux de visualisation (Niv1, Niv2, Niv3) correspondant à trois échelles différentes ;
- une caractérisation des entités par les 4 attributs décrivant les entités hydrogéologiques de la BDLISA (thème, milieu, nature et état)

La nomenclature des entités hydrogéologiques, leur gestion sur le plan stratigraphique et les supports de diffusion (fiches pdf – voir figure 23) sont également calqués sur la BDLISA.

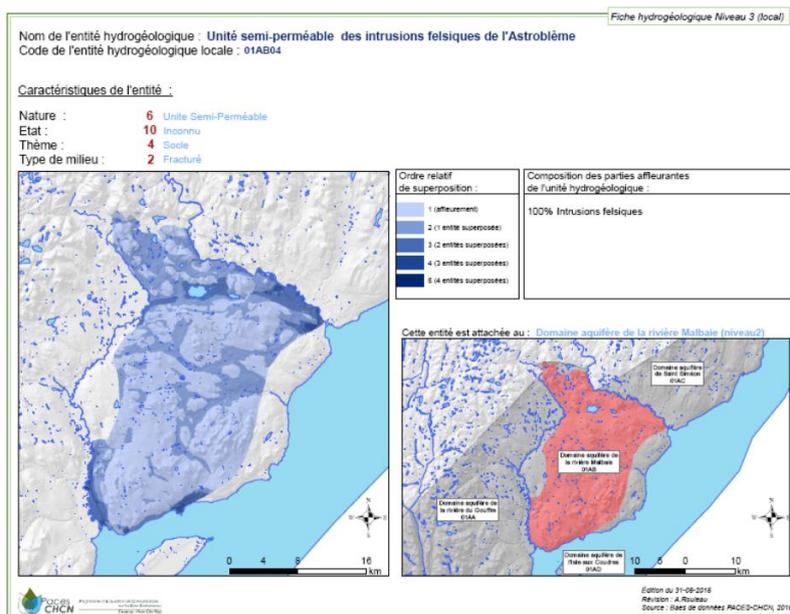


Figure 23 – Exemple d'une fiche hydrogéologique inspirée du travail de la BDLISA au Québec, d'après Cerm-paces (2015)

Dans son rapport sur les comptes de l'eau (EEA, 2013), l'agence européenne pour l'environnement souligne des points d'amélioration en matière de référentiel de données sur l'eau souterraine à l'échelle européenne. A ce titre, l'agence cite en exemple la BDLISA pour la méthode de construction de la base et, par extension, son intérêt comme outil pour l'application des dispositions de la DCE.

En France, le référentiel a été utilisé dans le cadre d'un travail portant sur la valorisation et la diffusion des données qui caractérisent les échanges eau de surface et eau souterraine (Brugeron et al., 2014). Les référentiels nationaux existants et interopérables du système d'information sur l'eau, BD CARTHAGE (Base de Données sur la CARTographie THématique des AGences de l'eau et du ministère chargé de l'environnement) et BDLISA sont les données utilisées pour mener le projet. Au-delà de l'amélioration *stricto sensu* de la connaissance, ce projet amène également des questions sur l'organisation et la mise à disposition des données caractérisant les phénomènes liant hydrologie et hydrogéologie.

7.3. INFORMER, SENSIBILISER, AIDER

7.3.1. De la diffusion aux outils d'aide à la décision

La diffusion d'informations fiables, actualisées et interopérables sur les eaux souterraines est un levier majeur pour sensibiliser les citoyens à la préservation des ressources en eau. Ce découplage de l'information permet également de faciliter le travail des agents des autorités publiques et de favoriser la prise en compte de l'eau dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des actions publiques. Cette démarche de partage de l'information s'inscrit dans le cadre réglementaire de la directive européenne INSPIRE qui impose aux autorités publiques de publier sur Internet leurs données environnementales géographiques.

La diffusion de la BDLISA s'inscrit dans ce contexte. Elle se base sur la mise en place d'une architecture informatique permettant de développer des services-web cartographiques. L'information diffusée est interopérable, accessible à tous et facilement exploitable grâce à des

applications web. Pour répondre à des besoins spécifiques et apporter des informations ciblées sur la ressource en eau, des plateformes se sont développées en lien avec la thématique de l'eau : les Systèmes d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines (SIGES) et le portail Géotraitement. Les SIGES sont des portails Internet (régionaux ou de bassin) qui mettent à disposition de tous un certain nombre d'outils et de ressources documentaires dédiés aux eaux souterraines. Le site Géotraitement est une application spécifique associée à la diffusion de la BDLISA et de la BD Carthage.

Ces portails possèdent un outil de cartographie en ligne accompagné de quelques spécificités propres à la BDLISA. Ces fonctionnalités ont été présentées dans la section 5.3.

En complément de ces modules disponibles sur toute la France, certains SIGES régionaux développent leurs propres applications. C'est le cas des régions Centre-Val de Loire, Ile-de-France et Aquitaine qui proposent un module de log « géo-hydrogéologique », associant les entités BDLISA avec les résultats de modèles hydrogéologiques. Le log « géo-hydrogéologique » ainsi proposé permet d'associer aux couches géologiques modélisées, les entités hydrogéologiques BDLISA correspondantes. Il est alors possible d'obtenir la profondeur et l'épaisseur des aquifères au droit d'une maille donnée. Ce type d'application permet par exemple aux bureaux d'études d'identifier l'épaisseur et la profondeur des nappes au droit d'un site avant la réalisation d'un forage.

7.3.2. Nouvelle carte hydrogéologique de la France au million

Les données du référentiel BDLISA permettent la construction de cartes thématiques. La première carte hydrogéologique à l'échelle de la France datant de 1978, le BRGM a lancé en 2014 la création d'une deuxième version sur la base de la version 0 de la BDLISA. En s'appuyant sur cette version, la carte gagne en résolution, passant du 1/1 500 000 au 1/1 000 000.

Elle présente les principaux aquifères de France (figure 24). Ces derniers sont caractérisés par le type d'écoulement des nappes qu'ils contiennent et sont colorés selon une zonation climatique établie d'après des données fournies par Météo-France. Cette coloration permet de fournir une indication sur la part des précipitations qui réalimente les nappes. Cette carte s'adresse à tous ceux qui souhaitent une information synthétique sur les caractéristiques des aquifères du territoire, qu'ils soient experts ou non (scolaires notamment).

Il est prévu de réaliser une seconde carte synthétique, toujours sur la base de la BDLISA, des ressources en eaux souterraines du territoire. Cette carte permettra notamment de localiser les formations géologiques exploitées ou susceptibles de l'être pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation ou l'industrie et d'y intégrer des notions de volumes.

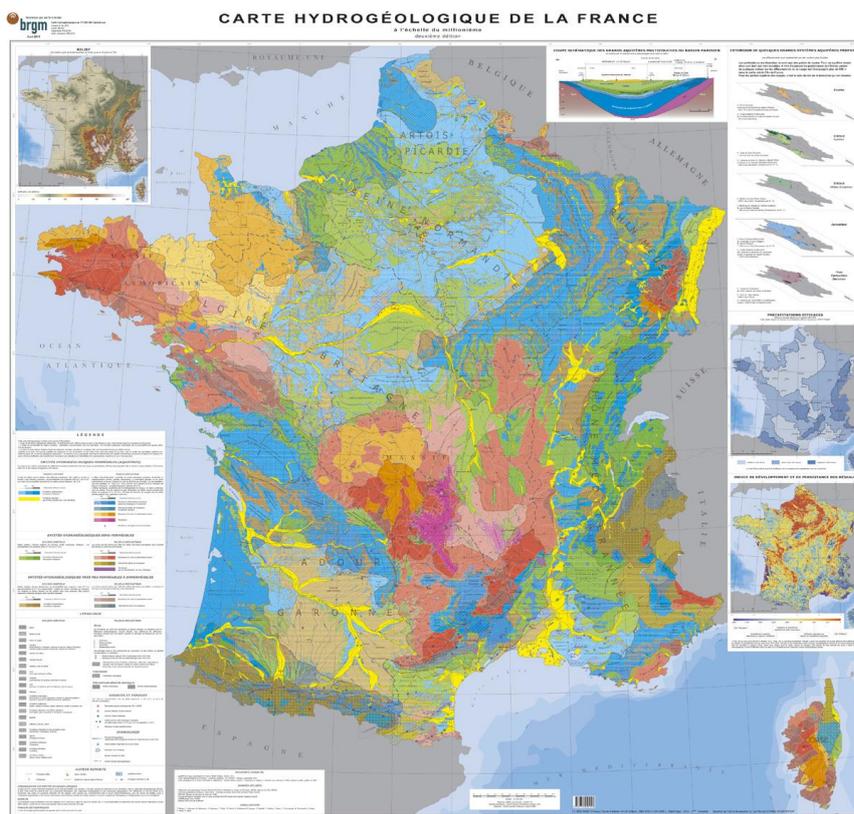


Figure 24 – Nouvelle carte hydrogéologique de la France au 1/1 000 000. La carte est construite avec les entités hydrogéologiques de la BDLISA V0.

8. Conclusion et perspectives

L'élaboration du référentiel hydrogéologique français BDLISA a rassemblé de nombreux acteurs et partenaires provenant à la fois d'organismes publics et de bureaux d'études. De plus, sa construction a mobilisé des spécialistes venant de différents horizons (hydrogéologues, géologues, géomaticiens, informaticiens), ce qui reflète le caractère particulier de ce référentiel : une cartographie des propriétés hydrogéologiques du sous-sol en exploitant uniquement les données disponibles, sans programme d'acquisition, mais qui saura évoluer avec l'acquisition de nouvelles connaissances.

Pour répondre à ce défi à l'échelle du territoire, une méthodologie a d'abord été développée par un groupe de travail national. Son objectif était de proposer une méthode homogène et adaptable en fonction des situations géologiques rencontrées et des données accessibles dans les régions. La phase de construction fondée sur cette méthode a duré 10 années et a mobilisé de nombreux collaborateurs en région.

Depuis fin 2012, cette phase de construction a cédé sa place à une phase de consolidation où le référentiel est perfectionné et enrichi du retour d'expérience des hydrogéologues. Des réflexions sont également conduites par des groupes de travail nationaux afin d'améliorer la méthodologie d'identification des entités hydrogéologiques et l'organisation de ce référentiel. Ainsi, la version 1 de la BDLISA comporte des nouveautés telles que le référencement des entités karstiques dans une couche SIG indépendante et l'ajout des formations alluviales aquifères productives dans les entités principales du référentiel. Concrètement, 340 demandes de corrections ont été traitées et ces modifications ont touché 868 entités.

Cette nouvelle version de BDLISA décrit maintenant 2493 entités hydrogéologiques (France métropolitaine et région d'outre-mer) au niveau de visualisation le plus fin (niveau 3), soit environ 15% de plus que la version précédente. Près de 2000 d'entre elles sont qualifiées d'aquifères.

L'accessibilité à l'information est également un point important du référentiel. La BDLISA est un référentiel du système d'information sur l'eau (SIE) et donc, plusieurs outils et documents sont mis à disposition pour faciliter son utilisation et sa compréhension. Ces dispositifs facilitent ainsi l'exploitation des données de la BDLISA, notamment dans le cadre de projets d'appui aux politiques publiques sur l'eau. Par exemple, le référentiel est utilisé dans le cadre de Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) pour améliorer la délimitation des nappes à réserver à l'alimentation en eau potable. D'autre part, en tant que référentiel, la BDLISA constitue également une source d'informations pour les bureaux d'études et les organismes scientifiques tels que le CNRS et les universités, pouvant être utilisée, par exemple, pour décrire le contexte hydrogéologique d'une zone d'étude.

Les perspectives d'évolution

Comme la version V1, la future mise à jour de la BDLISA apportera les corrections des anomalies décelées durant son exploitation et comportera également des améliorations structurelles et méthodologiques, notamment sur la délimitation des entités hydrogéologiques en zone de socle. Dans le futur, les perspectives d'amélioration se baseront également sur cette dynamique centrée sur la pratique des utilisateurs et sur les réflexions portées par des groupes de travail pluridisciplinaires. Outre les aspects scientifiques, l'accessibilité et l'organisation de la base de

données sont des questions prégnantes qui seront soulevées pour optimiser l'accessibilité et l'exploitation des données du référentiel.

Cette ouverture d'accès à l'information est primordiale, elle stimule l'innovation, favorise la collaboration entre les différentes disciplines, sensibilise les citoyens et les pouvoirs publics aux enjeux associés aux eaux souterraines.

9. Références bibliographiques

Bel A. (2015) - Projet NappStrat SN : Cartographie des ressources en eau stratégiques du bassin Seine-Normandie. Rapport final. BRGM/RP-64629-FR.

Bouroullec I., Garnier C., Saplairoles M. (2014) - Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique - Evaluation de l'aléa glissement de terrain en contexte de changement climatique et mise en place d'un protocole de suivi. Site-pilote de Gourette (64). Rapport final. BRGM/RP-63547-FR.

Brugeron A., Bessiere H., Stollsteiner P., Allier D. (2014) - Approche exploratoire des liens entre référentiel hydrogéologiques et hydrographiques (Année 2) : Réflexions sur l'organisation et la mise à disposition des données. Rapport final. BRGM/RP-63643-FR.

Brugeron A., Schomburgk S. (2013) - Mise en œuvre de la DCE : Identification et délimitation des masses d'eau souterraine au deuxième cycle. Rapport final. Rapport BRGM/RP-62275-FR.

Cerm-paces. (2015) - Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraine du territoire de Charlevoix, Charlevoix-Est et la Haute-côte-Nord. Tech. rep., Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi.

Chadourne D. (2003) - Identification et caractérisation des masses d'eau. La Houille Blanche 2, 85–89.

Crastes de Paulet F. (2014) - Inondation par remontée de nappe à Plougueneau (29) - février 2014. Rapport final. BRGM/RP-63963-FR.

Dörfliger N., Schomburgk S., Bouzit M., Petit V., Caballero Y., Durst P., Douez O., Chate-lier M., Croiset N., Surdyk N. (2011) - Montée du niveau marin induite par le changement climatique : Conséquence sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers en métropole. Rapport final. BRGM/60829-FR.

Durst P., Ayache B., Saltel M., Abou Akar A. (2011) - Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie en région aquitaine. Atlas du potentiel géothermique des aquifères. Rapport final. BRGM/RP-59761-FR.

EEA. (2013) - Results and lessons from implementing the water assets accounts in the eea area from concept to production. European Environment Agency.

Fock S. (2013) - Les enjeux de la ressource en eau face au changement climatique en bourgogne. Représentativité des bassins versants choisis pour les simulations. Master's thesis, Université de Bourgogne. U.F.R de Sciences Humaines. Département de Géographie.

Galia H. (2014) - Avis de l'hydrogéologue agréé sur la compatibilité de l'extension du cimetière de la commune de Fondettes (37) avec la protection des eaux souterraines. Tech. rep.

Geoscop. (2014) - Demande d'autorisation de renouvellement et d'extension de carrière et d'une installation de traitement - plate-forme de recyclage -. Tech. rep., Geoscop.

Gourcy L., Picot J., Surdyk N. (2014) - Détermination de l'âge apparent des eaux de 7 sources de l'aire d'alimentation de Bruyères-et-Montbérault. Rapport final. BRGM/RP-64179-FR.

Lalot E., Curie F., Wawrzyniak V., Schomburgk S., Piegay H., Moatar F. (2015) - Quantification of the beauces groundwater contribution to the loire river discharge using satellite infrared imagery. Hydrology and Earth System Sciences 12, 2047–2080.

Magand C. (2014) - Influence de la représentation des processus nivaux sur l'hydrologie de la Durance et sa réponse au changement climatique. Earth Sciences. Ph.D. thesis, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

Margat J. (1976). Carte et catalogue des principaux systèmes aquifères du territoire français. Tech. rep.

Maton D., Analy M., Durst P., Goyénèche O., Herniot P., Zammit C. (2012) - Atlas du potentiel géothermique des aquifères de la région Picardie. Tome 1 : Méthodologie et conception de l'atlas. Rapport final. BRGM/RP-61365-FR.

Mazurier C., Ayache B., Allier D., Cabaret O., Pédron N. (2012) - Croisement des captages suivis dans le cadre du contrôle sanitaire et des sites BASIAS, BASOL et ICSP en Aquitaine. Rapport final. Rapport final. BRGM/RP-61490-FR.

Neveux A. (2014) - Rapport d'expertise. Avis hydrogéologique suite aux inondations par remontée de nappe dans le cadre d'une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sur la commune de Naizin (56). Rapport final. BRGM/RP-63691-FR.

Nguyen-Thé D. (2012) - Etat initial et diagnostic du SAGE de la nappe des GTI. Synthèse des données hydrogéologique existantes. Rapport final. BRGM/RP-61377-FR.

Poux A., Goyénèche, O., Le Brun M., Martin J., Noel S., Zammit, C., Salquèbre D., Lecomte S., Marre, D. (2012). Prospectives de développement de la géothermie en région Centre (GEOPOREC). Rapport final. Rapport BRGM/RP-60336-FR.

Salquèbre D. (2013) - Proposition de délimitation des Nappes à réserve à l'Alimentation en Eau Potable (NAEP) - Bassin Loire-Bretagne. Rapport final. Rapport BRGM/RP-62961-FR.

Saltel M., Pédron N., Platel J.-P., Bourguine B., Gutierrez T. (2011) - Gestion des eaux souterraines en région aquitaine. Développement et maintenance du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes. Rapport final. Rapport BRGM/RP-59959-FR.

Schomburgk S., Auterives C., Lucassou F. (2012) - Méthodologie d'ajustement des masses d'eau souterraine du bassin Loire-Bretagne à partir des nouvelles connaissances. Rapport final. Rapport final. BRGM/RP-61822-FR.

9.1. RAPPORTS DE LA PHASE METHODOLOGIQUE ET DE LA CONSTRUCTION NATIONALE (PAR ORDRE CHRONOLOGIQUE)

Petit V., Hanot F., Pointet T. (2003) - Référentiel hydrogéologique BD RHF. Guide méthodologique de découpage des entités. Rapport BRGM RP-52261-FR.

Petit V. (2004) - BDRHF - Découpage préalable et global. CDROM des documents. Présentation du contenu. Rapport BRGM/RP-53127-FR.

SANDRE (2004) - Description des données sur le référentiel hydrogéologique. Version 08 du 03/05/2004.

Seguin J.J., Mardhel V., avec la collaboration de **Schomburgk S.** (2012) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA, version beta. Présentation du référentiel, principes de construction et mise en œuvre. Rapport final. BRGM/RP-62261-FR.

Seguin J.J., Mardhel V., avec la collaboration de **Schomburgk S., Allier D.** (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA-version V0. Présentation du référentiel, principes de construction et mise en œuvre. Rapport final. BRGM/RP-61034-FR.

9.2. LISTE DES RAPPORTS REGIONAUX (PAR ORDRE CHRONOLOGIQUE)

9.2.1. Artois-Picardie

Dufrenoy R., avec la collaboration de **Petit V., Mardhel V., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Artois-Picardie. Années 3 et 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 et 3 en régions Nord-Pas de Calais et Picardie. Rapport d'étape. BRGM/RP-57520-FR

Dufrenoy R., Petit V., Mardhel V., Schomburgk S., Xu D. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Artois-Picardie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62207-FR.

9.2.2. Rhin-Meuse

Fourniguet G., Boucher J., Nguyen-Thé D. avec la collaboration de **Mardhel V., Warin J., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Rhin-Meuse et Seine-Normandie. Année 3. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en Lorraine et dans les secteurs du bassin Rhin-Meuse en Champagne-Ardenne. Rapport d'étape. BRGM/RP-57519-FR.

Urban S., avec la collaboration de **Boucher J., Mardhel V., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Rhin-Meuse - Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Alsace. Rapport d'étape. BRGM/RP-58091-FR.

Fourniguet G., Boucher J., Nguyen-Thé D., Warin J., Xu D., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Rhin-Meuse et Seine-Normandie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en Lorraine et dans les secteurs du bassin Rhin-Meuse en Champagne-Ardenne. Rapport final : Mise à jour BDLISA. BRGM/RP-62216-FR.

Urban S., Boucher J., Mardhel V., Schomburgk S., Xu D. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Rhin-Meuse. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en région Alsace. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62217-FR.

9.2.3. Seine-Normandie

Asfirane F., Wuilleumier A. avec la collaboration de **Mardhel V.** (2009) - Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF-V2. Bassin Seine-Normandie. Année 2. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Île-de-France. Rapport d'étape. BRGM/RP-56948-FR.

Dufrenoy R., avec la collaboration de **Chrétien P., Mardhel V., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Seine-Normandie. Année 3. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en région Picardie. Rapport d'étape. BRGM/RP-57516-FR.

Lereculey A., Arnaud L., avec la collaboration de **Mardhel V., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Seine-Normandie. Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en régions Haute-Normandie et Basse-Normandie. Rapport d'étape. BRGM/RP-57518-FR.

Warin J., Chabart M. avec la collaboration de **Geron A., Mardhel V., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Seine-Normandie. Année 3. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Champagne-Ardenne. Rapport d'étape. BRGM/RP-57517-FR.

Bel A., Bault V., Boudet M., Chabart M., David P.-Y., Fourniguet G., Lucassou F. (2012) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA – Bassin Seine-Normandie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 2 et 3 en Seine-Normandie. Rapport final. BRGM/RP-61826-FR.

Bel A., Bault V., Boudet M., Chabart M., David P.-Y., Fourniguet G., Jauffret D., Salquèbre D., Lucassou F., Mardhel V., Krencker M., Lefevre Y., Legendre S., Robelin C., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BD-LISA - Bassin Seine-Normandie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 2 et 3 du bassin Seine-Normandie. Rapport final. BRGM/RP-61826-FR.

Asfirane F., Wuilleumier A., Schomburgk S., Surdyk N., Bel A., Donsimoni M., Vernoux J.F., Mardhel V. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français. BDLISA (Version 0). Bassin Seine-Normandie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveau 1 et 2 en région Île-de-France. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62218-FR.

Dufrenoy R., Schomburgk S., Bault V., Chrétien P., Mardhel V., Xu D., Surdyk N. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA (Version 0). Bassin Seine-Normandie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en région Picardie. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62220-FR.

Lereculey A., Arnaud L., Schomburgk S., Surdyk N., Mardhel V., Xu D. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Seine-Normandie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en régions Haute-Normandie et Basse-Normandie. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62223-FR.

Urban S., Balloffet E., Jauffret D., Mardhel V., Schomburgk S., Surdyk N. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Loire-Bretagne et Seine-Normandie.

Délimitation des entités hydrogéologiques en région Bourgogne. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62225-FR.

Warin J., Chabart M., Geron A., Mardhel V., Schomburgk S., Surdyk N., Xu D. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Seine-Normandie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveau 1 et 2 en région Champagne-Ardenne. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62224-FR.

9.2.4. Loire-Bretagne

Baudouin V., Mougin B., Rouxel E. avec la collaboration de **Mardhel V.** (2009) - Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF-V2. Bassin Loire-Bretagne. Année 2 - Délimitation des entités hydrogéologiques en région Pays de Loire. Départements du Maine et Loire et de la Sarthe. Rapport d'étape. BRGM/RP-56954-FR.

Baudouin V., Chrétien P., Mougin B., Rouxel E. avec la collaboration de **Mardhel V., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Années 3 et 4. Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques en Bretagne (année 4) et en Pays-de-la-Loire dans les départements de Vendée, Loire-Atlantique et Mayenne (année 3). Rapport d'étape. BRGM/RP-58196-FR.

Bertin C. (2009) - Référentiel hydrogéologique français BDRHF-V2. Bassin Loire-Bretagne. Année 2. Délimitation des entités hydrogéologiques du département de la Loire. Rapport d'étape. Rapport BRGM RP-56950-FR

Bertin C., Seguin J.J. avec la collaboration de **Mardhel V.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Loire-Bretagne et Adour-Garonne. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Auvergne. Rapport d'étape. BRGM/RP-59005-FR.

Jaouen T., Touchard F. avec la collaboration de **Mardhel V.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Loire-Bretagne et Adour-Garonne. - Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Limousin. Rapport d'étape. BRGM/RP-58093-FR

Schomburgk S., Lalot E., Maget Ph., Mardhel V., Martin J.C., Robelin C. (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Loire-Bretagne Année 3. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveau 3 en région Centre. Rapport d'étape. BRGM/RP-58257-FR.

Thinon-Larminach M. avec la collaboration de Bichot F., **Mardhel V., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Loire-Bretagne. Année 3. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Poitou-Charentes, départements des Deux-Sèvres et de la Vienne. Rapport d'étape. BRGM/RP-58195-FR.

Baudouin V., Mougin B., Rouxel E., Mardhel V., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Pays de Loire. Départements du Maine-et-Loire et de la Sarthe. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62226-FR.

Baudouin V., Chrétien P., Mougin B., Rouxel E., Xu D., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques en Bretagne et en Pays-de-la-Loire dans les départements de Vendée, Loire-Atlantique et Mayenne. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62227-FR.

Bertin C., Mardhel V., Schomburgk S. (2013) - Référentiel hydrogéologique français. BDLISA Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques du département de la Loire. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62228-FR.

Bertin C., Seguin J.J., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Loire-Bretagne et Adour-Garonne. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Auvergne. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62229-FR.

Jaouen T., Mauroux B., Touchard F., Mardhel V., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Loire-Bretagne et Adour-Garonne. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Limousin. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62230-FR.

Lamotte C., Allier D., Xu D., Surdyk N., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Adour-Garonne et Loire Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques du département de la Lozère. Rapport final. BRGM/RP-62234-FR.

Schomburgk S., Lalot E., Maget PH., Mardhel V., Martin J.C., Robelin C., Surdyk N. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveau 3 en région Centre. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62231-FR.

Thinon-Larminach M., Bichot F., Champion I., Xu D., Surdyk N., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques en Poitou-Charentes, dans les départements de la Vienne et des Deux-Sèvres. Rapport final. BRGM/RP-62232-FR.

9.2.5. Adour-Garonne

Saplaïroles M., Baudry D., Pédrón N. (2007) - Référentiel Hydrogéologique Français – BDRHF-V2 – Bassin Adour-Garonne. Année 1. Délimitation des entités hydrogéologiques en régions Aquitaine et Midi-Pyrénées. Rapport d'étape. BRGM/RP-56053-FR

Bichot F., Bousquet Y. avec la collaboration de **Mardhel V.** (2009) - Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF-V2. Bassin Adour-Garonne. Année 2. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Poitou-Charentes. Rapport d'étape. BRGM/RP-56947-FR

Pédrón N., Platel J.P., Bidzana K., Labarthe B., Loiseau J.B., Lucassou F. avec la collaboration de **Mardhel V.** (2009) - Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF-V2. Bassin Adour-Garonne. Années 2 et 3. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Aquitaine. Rapport d'étape. BRGM/RP-56949-FR.

Saplaïroles M., Ollagnier S. (2009) - Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF-V2. Bassin Adour-Garonne. Année 2. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Midi-Pyrénées. Rapport d'étape. BRGM/RP-56952-FR

Lamotte C., Allier D., avec la collaboration de **Mardhel V., Xu D.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassins Adour-Garonne et Loire Bretagne. Année 3. Délimitation des entités hydrogéologiques du département de la Lozère. Rapport d'étape. BRGM/RP-58090-FR.

Pédrón N., Saplaïroles M., Ayache B., Labarthe B., Platel J.P., avec la collaboration de **Bichot F., Bujel D., Monod B., Mardhel V.** (2011) - Référentiel Hydrogéologique Français BD-

LISA. Année 4. Bassin Adour-Garonne. Délimitation des entités hydrogéologiques de la zone pyrénéenne en Aquitaine et en Midi-Pyrénées. Rapport d'étape. BRGM/RP-58198-FR.

Pédron N., Platel J.P., Bidzana K., Labarthe B., Loiseau J.B., Lucassou F., Mardhel V., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Adour-Garonne. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Aquitaine. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62235-FR.

Pédron N., Saplairoles M., Ayache B., Labarthe B., Platel J.P., Bujel D., Monod B., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BD-LISA. Bassin Adour-Garonne. Délimitation des entités hydrogéologiques de la zone pyrénéenne en Aquitaine et Midi-Pyrénées. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62236-FR.

Saplairoles M., Ollagnier S., Bardeau M., Gandolfi J.M., Marty F., Pinson S., Mardhel V., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Adour-Garonne. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Midi-Pyrénées. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62243-FR.

9.2.6. Rhône-Méditerranée-Corse

Lamotte C. (2001) - Actualisation de synthèses hydrogéologiques régionales sur Rhône-Méditerranée-Corse. Présentation de la base de données informatique. BRGM/RP-50956-FR

Lamotte C. (2001) - Actualisation de synthèses hydrogéologiques régionales sur Rhône-Méditerranée-Corse. Description des entités hydrogéologiques, guide méthodologique du découpage et présentation de la maquette du rendu final. BRGM/RP-50957-FR

Lamotte C. (2002) - Actualisation des synthèses hydrogéologiques régionales sur Rhône-Méditerranée-Corse. Guide méthodologique du découpage et présentation de la maquette-catalogue. BRGM/RP-51821-FR

Lamotte C. (2002) - Actualisation des synthèses hydrogéologiques régionales sur Rhône-Méditerranée-Corse. Présentation de la base de données informatique (version 2002). BRGM / RP-51822-FR

Lamotte C., Nicolas J., Legrand C., Jauffret D., Bault V., Doucet M., Bayle E., Coueffe R., Tourliere B. (2009) - Actualisation de la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée. Régions Bourgogne, Franche-Comté et Rhône-Alpes. Rapport final. BRGM/RP-57091-FR-FR

Lamotte C., Marchal J.P. (2011) - Synthèse hydrogéologique du Languedoc-Roussillon. Bassin Rhône-Méditerranée. Rapport final. BRGM/RP-60305-FR

Genevier M., Mardhel V., Frissant N., avec la collaboration de **Bodéré G.** (2011) - Actualisation de la synthèse hydrogéologique de la région Corse. Rapport final. BRGM/RP-59924-FR

Moulin M., Salquèbre D., Sany F. (2013) - Actualisation de la synthèse hydrogéologique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (bassin Rhône-Méditerranée). Rapport final. BRGM/RP-61846-FR.

9.2.7. DROM

Dumon A. avec la collaboration de **Mardhel V.** (2009) - Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF-Version 2. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Guadeloupe. BRGM/RP-56953-FR

Michels-Declerc S., Parizot M. avec la collaboration de **Joseph B. et Mardhel V.** (2010) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Guyane. BRGM/RP-58197-FR.

Petit V., Aunay B. avec la collaboration de **Dufrenoy R.** (2011) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Réunion. BRGM/RP-58199-FR.

Vittecoq B., Mardhel V. (2011) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Martinique. BRGM/RP-57740-FR.

Dumon A., Mardhel V., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Guadeloupe. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62237-FR.

Michel.Declercq S., Parizot M., Joseph B., Schomburgk S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Guyane. Rapport final. Mise à jour BDLISA V0. BRGM/RP-62239-FR.

Petit V., Aunay B., Charlier J.B., Dufrenoy R., Surdyk N. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Réunion. Rapport final. Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-63052-FR.

Vittecoq B., Mardhel V., Schomburgk S., XU D. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Martinique. Rapport final. Mise à jour BDLISA V0. BRGM/RP-62238-FR.



Centre scientifique et technique
Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr