

Partenariat 2013 – Domaines Savoirs « Référentiels du SIE » – Action 41



Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA-version V0 *Présentation du référentiel. Principe de construction et mise en œuvre*

Rapport final

J.J. Seguin, V. Mardhel (BRGM)
Avec la collaboration de S. Schomburgk, D. Allier (BRGM)

Septembre 2013

Document élaboré dans le cadre de :
La Directive Cadre sur l'Eau

En partenariat avec :



Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA-version V0 *Présentation du référentiel. Principe de construction et mise en œuvre*

Rapport final

J.J. Seguin, V. Mardhel (BRGM)
Avec la collaboration de S. Schomburgk, D. Allier (BRGM)

Septembre 2013

Document élaboré dans le cadre de :
La Directive Cadre sur l'Eau

En partenariat avec :



- **AUTEURS**

Jean-Jacques SEGUIN, chef de projet (BRGM), jj.seguin@brgm.fr

Vincent MARDHEL, en charge du modèle de gestion du référentiel (BRGM), v.mardhel@brgm.fr

Susanne SCHOMBURGK, (BRGM), s.schomburgk@brgm.fr

Delphine ALLIER (BRGM), d.allier@brgm.fr

- **CORRESPONDANTS**

Onema : Laurent Coudercy, l.coudercy@onema.fr

Partenaire : les six agences de l'eau

Droits d'usage :	Accès libre
Niveau géographique :	France métropolitaine et DOM
Couverture géographique :	National
Citations locales :	Référentiel hydrogéologique français BDLISA
Niveau de lecture :	Professionnels, experts
Nature de la ressource	Document

- **RESUME**

BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères) est le nouveau Référentiel Hydrogéologique Français, couvrant le territoire métropolitain et 4 départements d'outre-mer : Guadeloupe, Martinique, Réunion, Guyane (Mayotte devrait être prévue en 2014). Il constitue l'un des jeux de données de référence du Système d'Information sur l'Eau (SIE).

Par rapport au référentiel BDRHFV1, le référentiel BDLISA innove par les concepts qui le sous-tendent et par trois caractéristiques majeures :

- la prise en compte des entités profondes, qui font de BDLISA un référentiel hydrogéologique quasi tridimensionnel (les épaisseurs ne sont pas prises en compte - seul un empilement de couches sans indication de valeur de profondeur est actuellement proposé - mais pourraient l'être ultérieurement) ;
- la délimitation des entités hydrogéologiques, aquifères et non aquifères, à trois périmètres géographiques différents, appelés « niveaux » du référentiel : niveau local, niveau régional et niveau national ;
- l'utilisation d'un « modèle de gestion » (développé sous ArcGis©), qui permet d'assembler toutes les entités de niveau local, de contrôler la cohérence topologique de cet assemblage, de détecter les anomalies, de corriger des artefacts, puis de passer du niveau local au niveau régional et de celui-ci au niveau national.

Au stade actuel de son développement (version 0) le référentiel BDLISA comprend :

- en France métropolitaine :
 - 1995 entités de niveau local,
 - 719 entités de niveau régional,
 - 145 entités de niveau national ;
- dans les quatre départements d'outre-mer cités ci-dessus :
 - 137 entités de niveau local,
 - 67 entités de niveau régional,
 - 5 entités de niveau national.

- **MOTS-CLES (thématique et géographique) :**
Référentiel hydrogéologique, Référentiel national du SIE, BDLISA, Système aquifère, Domaine hydrogéologique, entité hydrogéologique, France, DROM.

- **TITLE**

REFERENTIEL HYDROGEOLOGIQUE FRANÇAIS – PRESENTATION DU REFERENTIEL, PRINCIPES DE CONSTRUCTION ET MISE EN ŒUVRE

- **ABSTRACT**

BDLISA (database of aquifer system delineation) is the new French hydrogeological reference system. It covers the metropolitan France and 4 overseas departments: Guadeloupe, Martinique, Reunion and French Guiana (Mayotte is planned in the year of 2013). Compared to the previous reference system (BDRHFV1), BDLISA is based on innovative concepts with the following main characteristics:

- it takes into account deep units, that makes it an almost three-dimensional reference system (the thicknesses are not taken into account at the moment);
- it delineates units, not only aquifer reservoirs but also semi-pervious and impervious units, at three different scales: local, regional and national;
- it is controlled by a management model (developed with ArcGis), which makes it possible to combine the totality of the local units in order to verify the topological consistency, detect anomalies, automatically correct the artifacts, and build regional and national entities by grouping local units.

It is controlled by a management model (developed with ArcGis), which makes it possible to combine the totality of the local units in order to test the topological consistency, detect anomalies, automatically the artifacts and build regional and national entities by grouping local units.

The reference system BDLISA-V0, includes:

- in the metropolitan France :
 - 1995 local units,
 - 719 regional units,
 - 145 national units;
- in the French overseas departments :
 - 137 local units,
 - 67 regional units,
 - 5 national units.

- **KEYWORDS (thematic and geographical area):**

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

- **SYNTHÈSE**

BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères) est le nouveau Référentiel Hydrogéologique Français, couvrant le territoire métropolitain et quatre départements d'outre-mer : Guadeloupe, Martinique, Réunion, Guyane (Mayotte devrait être prévue en 2014). Il constitue l'un des jeux de données de référence du Système d'Information sur l'Eau (SIE).

L'objectif de BDLISA est de mettre à disposition de chaque utilisateur un système d'identification unique des entités hydrogéologiques françaises (entités aquifères mais aussi entités peu ou non aquifères), réalisé selon des règles communes. BDLISA permet de traiter et d'échanger les informations intégrées dans une base de données associée aux couches cartographiques.

Par rapport au référentiel BDRHFV1, le référentiel BDLISA innove par les concepts qui le sous-tendent et par trois caractéristiques majeures :

- la prise en compte des entités profondes, qui font de BDLISA un référentiel hydrogéologique quasi tridimensionnel (les épaisseurs ne sont pas prises en compte, seul un empilement de couches sans indication de valeur de profondeur est actuellement proposé) ;
- la délimitation des entités hydrogéologiques, aquifères et non aquifères, à trois périmètres géographiques différents, appelées « niveaux » du référentiel : niveau local, niveau régional et niveau national ;
- l'utilisation d'un « modèle de gestion » qui permet d'assembler toutes les entités de niveau local, de contrôler la cohérence topologique de cet assemblage, de détecter les anomalies, de corriger des artefacts, puis de passer du niveau local au niveau régional et de celui-ci au niveau national.

La construction du référentiel BDLISA a été menée en plusieurs étapes :

- l'étape préalable de définition d'une approche méthodologique nationale commune (méthodologie de découpage des entités) ;
- l'élaboration d'un modèle conceptuel commun de gestion des données pour la base de données associée, via la conception d'un outil sous Arcgis© ;
- la construction du référentiel à l'échelle de chaque région administrative, avec la délimitation des entités hydrogéologiques aux trois niveaux de détail (local, régional, national) ;
- une étape de consolidation par harmonisation, à l'échelle des bassins dans un premier temps, à l'échelle nationale dans un deuxième temps, de l'ensemble des découpages régionaux, avec l'attribution d'une codification nationale des entités et une caractérisation homogène de celles-ci selon une nomenclature définie ;
- la rédaction d'un modèle de données et d'un dictionnaire de données SANDRE accompagnant le référentiel. À terme, un scénario d'échanges sera défini également.

La phase méthodologique préalable, 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 métropolitaine à deux niveaux de

représentation, national (grandes entités) et régional (subdivision des entités de niveau national) ;

- de réaliser un premier découpage, indicatif, des entités préalablement identifiées ;
- de mettre au point une méthodologie de découpage sur la base de cette première liste d'entités identifiées et d'un échantillonnage de quelques coupes régionales intégrant un éventail aussi large que possible des formations rencontrées sur le territoire de chacune des Agences de l'Eau ;
- de définir, avec le Sandre, un modèle conceptuel de données pour l'élaboration de la future base de données du référentiel.

Le référentiel est sous-tendu par un « *Modèle de gestion* » développé sous ArcGis©. Ce modèle, outre le rôle important qu'il a eu dans la phase de construction du référentiel en facilitant l'assemblage global des entités et en garantissant la cohérence topologique de l'ensemble, en assure désormais la maintenance et facilitera les mises à jour.

Au stade actuel de son développement (version 0) le référentiel BDLISA comprend :

- en France métropolitaine :
 - 1995 entités de niveau local,
 - 718 entités de niveau régional,
 - 144 entités de niveau national ;
- dans les quatre départements d'outre-mer cités ci-dessus :
 - 137 entités de niveau local,
 - 68 entités de niveau régional,
 - 6 entités de niveau national.

Ce rapport présente :

- les caractéristiques du référentiel BDLISA : concepts, modèle de représentation des entités, principes de construction ;
- les règles de découpage appliquées à chacun des cinq thèmes du référentiel (Alluvial, Sédimentaire, Socle, Intensément plissé, Volcanisme), illustrées par des exemples ;
- l'outil de construction du référentiel développé sous ArcGis© pour détecter les anomalies, corriger automatiquement des artefacts de découpage, vérifier la cohérence topologique de l'assemblage global des entités.

Il constitue une mise à jour par rapport au rapport BRGM RP-61034-FR qui présentait ce référentiel en version beta.

Référentiel hydrogéologique français BDLISA, version 0

Présentation du référentiel, principes
de construction et mise en oeuvre

Rapport final

BRGM/RP-62261-FR

Septembre 20123

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

J.J. Seguin, V. Mardhel

Avec la collaboration de

S. Schomburgk, D. Allier

Vérificateur :

Nom : Laurence CHERY

Date : 24/09/2013

Signature :



Approbateur :

Nom : Serge LALLIER

Date : 24/09/2013

Signature :



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

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

Mots-clés : Référentiel hydrogéologique, Référentiel national du SIE, BDLISA, Système aquifère, Domaine hydrogéologique, Entité hydrogéologique, France, DROM.

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

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-62261-FR. 156 p., 57 ill., 2 ann.

© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Avertissement

Ce rapport présente la version V0 du Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA qui succède au référentiel BDRHFV1.

Le référentiel national BDLISA résulte de l'assemblage des travaux menés depuis 2006 dans les différentes régions de France et dans les départements d'outre-mer (à l'exception du département de Mayotte, où la construction devrait être prévue en 2014). Il intègre aussi les entités hydrogéologiques du bassin Rhône-Méditerranée et Corse délimitées dans le cadre d'une synthèse hydrogéologique de ce bassin dont les bases ont été définies dès le début des années 2000.

Par rapport à la version précédente (version beta), parue en 2012, la version V0 du référentiel BDLISA intègre désormais les entités hydrogéologiques de niveau local du bassin Seine-Normandie avec des mises à jour des entités limitrophes de ce bassin, quelques corrections de contours et de libellés d'entités.

Ce rapport sera complété lors de la sortie de la version 1 du référentiel en tenant compte du travail réalisé en 2013 et des remarques formulées par les utilisateurs suite à la diffusion des versions Beta et V0.

Enfin, au fur et à mesure de l'évolution du référentiel et des connaissances, il sera possible de mieux caractériser les entités, en particulier les nappes alluviales, les entités karstiques, les parties profondes qui pourront alors être distinguées des parties superficielles si elles en diffèrent hydrogéologiquement : en effet, bien souvent, faute d'information, la nature attribuée à l'entité (à savoir aquifère ou non), reflète surtout les caractéristiques de cette entité dans la partie affleurante et à faible profondeur.

Avant-propos

La construction de BDLISA a été 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 BRGM national 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 ses 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.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Présentation du référentiel BDLISA.....	15
2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION ET ASSEMBLAGE DES ENTITES.....	15
2.1.1. Principes de construction.....	15
2.1.2. Assemblage des entités.....	15
2.1.3. Adaptations de la méthodologie de 2003 dans la construction.....	16
2.1.4. BDLISA et le Dictionnaire de données SANDRE.....	16
2.2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU REFERENTIEL BDLISA	16
2.3. LES OBJETS DU REFERENTIEL.....	17
2.3.1. Les entités hydrogéologiques	17
2.3.2. Les niveaux d'utilisation des entités hydrogéologiques	19
2.3.3. Les « thèmes » des entités hydrogéologiques.....	19
2.3.4. L'attribut « Nature » des entités hydrogéologiques.....	20
2.3.5. L'attribut « Type de milieu » des entités hydrogéologiques	23
2.3.6. L'attribut « État » des entités hydrogéologiques	24
2.3.7. L'attribut « Origine de la construction » des entités hydrogéologiques.....	24
2.4. LE TABLEAU MULTI-EHELLES	25
2.5. LE MODELE DE REPRESENTATION DES ENTITES	25
2.5.1. Principes sous-jacents.....	25
2.5.2. Organisation des entités en deux ensembles	27
2.5.3. Ordre absolu et ordre relatif.....	27
3. Méthodologie de délimitation des entités et assemblage par le modèle de gestion	31
3.1. PRINCIPES DIRECTEURS.....	31
3.1.1. Homogénéité du découpage.....	31
3.1.2. Emboîtement des niveaux	31
3.2. PRINCIPALES ETAPES DE LA DELIMITATION	32
3.2.1. Identification et cadrage hydrogéologique général	32
3.2.2. De l'analyse des cartes géologiques au tableau multi-échelles.....	32
3.2.3. Individualisation de l'alluvial.....	33

3.2.4. Découpage des entités.....	33
3.2.5. Passage au modèle de gestion du référentiel	33
3.2.6. Organigramme.....	34
3.3. NOMBRE D'ENTITES DU REFERENTIEL	34
3.3.1. Entités principales du territoire métropolitain.....	34
3.3.2. Entités principales dans les DOM.....	36
4. Formations du thème sédimentaire	37
4.1. REGLES GENERALES DE DECOUPAGE.....	37
4.2. ÉLABORATION DU TABLEAU MULTI-ECHELLES	38
4.3. DIFFICULTES RENCONTREES	41
4.3.1. Exemple en Aquitaine.....	41
4.3.2. Exemple en Pays-de-la-Loire : départements de la Sarthe et du Maine-et-Loire	42
4.4. EXEMPLES DE DECOUPAGES	44
4.4.1. Exemple des Calcaires crayeux du Turonien en Aquitaine	44
4.4.2. Exemple de découpage par lignes de crête piézométrique : bassin Loire-Bretagne.....	47
4.4.3. Exemple de découpage par lignes de crête piézométrique : bassin Seine-Normandie.....	50
4.4.4. Exemples en région Rhône-Alpes	52
4.4.5. Exemple en région Languedoc-Roussillon	54
4.5. FORMATIONS KARSTIQUES	55
4.5.1. Règles de découpage d'après le guide méthodologique de 2003.....	55
4.5.2. Exemple en Midi-Pyrénées.....	56
4.5.3. Exemple en Languedoc-Roussillon	58
4.5.4. Exemple en Franche-Comté.....	58
5. Formations du « thème socle »	61
5.1. PRINCIPES GENERAUX DE DECOUPAGE SELON LE GUIDE METHODOLOGIQUE DE 2003	61
5.2. DEMARCHE DE DECOUPAGE DANS LE REFERENTIEL BDLISA.....	62
5.2.1. Exemple 1 : Socle armoricain.....	62
5.2.2. Exemple 2 : Socle du Massif central en région Limousin	66
5.2.3. Exemple 3 : Socle vosgien	69
5.2.4. Exemple 4 : socle de la Corse.....	73

6. Formations volcaniques	77
6.1. PRINCIPES GENERAUX DE DECOUPAGE	77
6.1.1. Niveau national	77
6.1.2. Niveau régional	78
6.1.3. Niveau local	78
6.2. EXEMPLES DE DECOUPAGE	78
6.2.1. Volcanisme du Massif central	78
6.2.2. Volcanisme en Martinique.....	79
6.2.3. Volcanisme en Guadeloupe.....	81
6.2.4. Volcanisme à la Réunion	83
7. Formations du thème « Intensément plissé ».....	87
7.1. PRINCIPES GENERAUX DE DECOUPAGE	87
7.1.1. Niveau national (NV1).....	87
7.1.2. Niveau régional (NV2).....	87
7.1.3. Niveau local (NV3).....	88
7.2. METHODOLOGIE DE DECOUPAGE APPLIQUEE A LA ZONE PYRENEENNE.....	88
7.2.1. Prise en compte du contexte géologique pyrénéen dans la méthodologie de découpage.....	88
7.2.2. Démarche générale	90
7.3. METHODOLOGIE DE DECOUPAGE DANS LE BASSIN RHONE- MEDITERRANEE ET CORSE.....	95
7.3.1. Entités délimitées.....	95
7.3.2. Exemples	95
8. Formations du « thème alluvial »	99
8.1. CAS DU « PROJET NATIONAL ».....	99
8.2. CAS DU BASSIN RHONE-MEDITERRANEE	101
9. Limites des entités	103
9.1. LIMITES HYDRAULIQUES	103
9.2. NATURE DES CONTACTS ENTRE ENTITES	103

10. Outil de construction du référentiel	107
10.1. GÉODATABASE	107
10.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS	113
11. Conclusion	117
12. Références bibliographiques	119
12.1. LISTE DES RAPPORTS REGIONAUX	119
12.2. RAPPORTS DE LA PHASE METHODOLOGIQUE	122

Liste des illustrations

Illustration 1 - Types d'entités hydrogéologiques et codification.	20
Illustration 2 - Liaisons possibles entre les entités hydrogéologiques.....	22
Illustration 3 - Structuration du référentiel : entités principales et complémentaires.....	26
Illustration 4 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités.....	29
Illustration 5 - Principe de construction d'une entité NV2 à partir d'entités NV3.	31
Illustration 6 - Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage.....	34
Illustration 7 - Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture.	37
Illustration 8 - Exemple en région Centre de correspondance entre formations géologiques de la carte géologique harmonisée et entités hydrogéologiques.	39
Illustration 9 - Exemple de correspondance entre formations géologiques locales traversées par les forages validés et entités hydrogéologiques.....	39
Illustration 10 - Extrait du tableau de correspondance entre les logs géologiques validés et les entités hydrogéologiques BD-LISA NV2 et NV3	40
Illustration 11 - Exemple en région Aquitaine de problèmes rencontrés lors de l'harmonisation de deux cartes géologiques à 1/50 000.	42
Illustration 12 - Affleurement de la formation des calcaires crayeux du Turonien et table attributaire associée.....	44
Illustration 13 - Exemple de découpage d'une formation sédimentaire.	46
Illustration 14 - Exemple de découpage par lignes de crête piézométrique : Calcaires de l'Orléanais et de Pithiviers de l'Aquitainien en région Centre.....	48
Illustration 15 - Cartes piézométriques de la Craie du Séno-Turonien du Bassin parisien.....	49
Illustration 16 - Entités NV2 de la Craie du Séno-Turonien dans le bassin Loire-Bretagne : lignes de crête piézométriques utilisées pour la délimitation.....	50

Illustration 17 - Crêtes piézométriques retenues pour définir les entités NV2 de la Craie	52
Illustration 18 - Zone modélisable en région Rhône-Alpes pour délimiter les parties profondes des entités (sur fond géologique à 1/1 000 000).....	54
Illustration 19 - Représentation du découpage au niveau NV3 des formations aquifères du Jurassique moyen et supérieur en Midi-Pyrénées (ancienne codification).....	57
Illustration 20 - Entités NV3 dans l'entité NV2 du plateau d'Ornans.....	60
Illustration 21 - Intersection zones hydrographiques BD Carthage avec entités définies suivant méthodologie générale (exemple des départements 49 et 72).	63
Illustration 22- Calcul du % de la superficie de chaque polygone élémentaire contenu dans chaque bassin versant (ici un bassin de code BD-Carthage J792) caractérisé par un type de perméabilité (champ nature et code 5, 6, 7) et une lithologie (champ lithologie).....	63
Illustration 23 - Table attributaire après caractérisation des entités par classe de perméabilité (Pays de la Loire).....	64
Illustration 24 - Exemple d'une entité caractérisée par une lithologie.....	65
Illustration 25 - Exemple d'un BV-Entité caractérisé par une classe de perméabilité.	65
Illustration 26 - Table attributaire après caractérisation des entités par classe de potentialité aquifère.	67
Illustration 27 - Information fournie par la méthode « DECLIC ».	70
Illustration 28 - Entités de niveau 3 délimitées et zones hydrographiques BD Carthage (une couleur par entité).	71
Illustration 29 - Exemple de construction d'une entité socle de niveau 3 (entité située à l'ouest de Remiremont).	72
Illustration 30 - Classes de potentialité en eau souterraine dans les bassins versants de socle en Corse.....	73
Illustration 31 - Localisation et hiérarchisation des zones susceptibles de posséder des ressources en eau souterraine mobilisable par forage dans le socle de la Corse (rapport BRGM/RP-58258-FR).	74
Illustration 32 - Nature des entités de niveau 3 du socle en Corse.	76
Illustration 33 - Entités du thème volcanisme dans le Massif central.	79
Illustration 34 - Unités morpho-structurales de Basse-Terre en Guadeloupe.	82
Illustration 35 - Cartographie des entités volcaniques de niveau 2 à la Réunion.	85
Illustration 36 - Schéma structural de la chaîne pyrénéenne.....	89
Illustration 37 - Tracé schématique du Front nord-pyrénéen.....	90
<i>Illustration 38- Entités NV2 : couche vectorielle homogénéisée avant traitements des formations superficielles « masquantes ».</i>	92
<i>Illustration 39 - Entités NV2 : couche vectorielle homogénéisée après traitements des formations superficielles « masquantes ».</i>	93
<i>Illustration 40 - Entités de niveau 1 : chaînons de l'intensément plissé de la chaîne pyrénéenne.....</i>	94

Illustration 41 - Cartographie des entités NV2 du thème « Intensément plissé » dans le bassin Rhône-Méditerranée.....	96
Illustration 42 - Alluvions sous Flandrien en Aquitaine.....	100
Illustration 43 - Traitement des formations du Flandrien en Aquitaine.....	100
Illustration 44 - Entités alluviales NV2 du référentiel dans le bassin Rhône-Méditerranée.....	102
Illustration 45 - Types de limites possibles entre entités.....	104
Illustration 46 - Correspondances entre nature des contacts et limites hydrauliques.....	105
Illustration 47 - Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap.....	107
Illustration 48 - Tables non géométriques de la géodatabase.....	108
Illustration 49 - Interface utilisateur de la géodatabase.....	109
Illustration 50 - Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général.....	109
Illustration 51 - Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs).....	110
Illustration 52 - Exemple de sélection (entités de niveau 3 et d'ordre 1).....	111
Illustration 53 - Tables des limites : identifiants des limites d'entités.....	112
Illustration 54 - Table des limites : natures des contacts entre entités.....	112
Illustration 55 - Éditeur de cartes du modèle de gestion du référentiel.....	113
Illustration 56 - Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche).....	115
Illustration 57 - Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie droite).....	116

Liste des annexes

Annexe 1 - Comment délimiter les entités avec ArcGis.....	123
Annexe 2 - Exemple d'un découpage d'entités du « thème Socle » dans le Massif armoricain.....	141

1. Introduction

Ce rapport présente la version V0 du Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA (*Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères*).

Ce référentiel hydrogéologique succède au référentiel BDRHFV1 et remédie à certaines insuffisances de ce référentiel, en particulier :

- l'absence de représentation cartographique des entités non affleurantes, les structures multicouches des bassins sédimentaires en particulier ;
- le manque d'homogénéité et parfois de précision des découpages.

Il tient compte aussi de l'évolution des connaissances géologiques et hydrogéologiques, en particulier de l'harmonisation des cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000.

Le Référentiel BDLISA propose un découpage du territoire national (territoire métropolitain et départements d'outre-mer, à l'exception de Mayotte) en **entités hydrogéologiques** (formations géologiques aquifères ou non), délimitées à trois niveaux de détail (national, régional et local) suivant des règles élaborées dans le cadre d'une méthodologie nationale.

Il est le résultat d'une série de travaux réalisés sur dix ans, en plusieurs étapes et dans le cadre de différentes conventions entre le BRGM, le Ministère en charge de l'Écologie (2006 et 2007), l'ONEMA (2008 à 2012), les six Agences de l'Eau et les Offices de l'Eau, le Ministère et l'ONEMA ayant contribué au financement des niveaux national et régional du référentiel (à l'exception du bassin Rhône-Méditerranée et Corse pour le niveau régional) et les Agences de l'Eau au financement des niveaux régional et local (dans le bassin Rhône-Méditerranée et Corse, il s'agit d'un financement de ces deux niveaux à parts égales entre l'Agence et le BRGM).

Un premier travail de type méthodologique¹, 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 un premier découpage cartographique, indicatif, des entités identifiées ;
- de mettre au point une méthodologie de découpage sur la base de six tests réalisés sur le territoire de chacune des Agences de l'Eau ; de définir, en collaboration avec

¹ Références bibliographiques :

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.

le Sandre, un modèle conceptuel de données pour l'élaboration de la base de données du Référentiel.

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 et 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 DOM, 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.

- **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 (DCE), la construction proprement dite de BDLISA a été réalisée par étapes sur cinq bassins et dans les DOM. 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 (chapitre 12) ;
- 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.

- **Le projet du bassin Rhône-Méditerranée et Corse**

Dans ce projet, l'objectif de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et 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 suivants :

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

- Actualisation des synthèses hydrogéologiques régionales sur Rhône-Méditerranée-Corse. Guide méthodologique du découpage et présentation de la maquette-catalogue - 2002 - Rapport BRGM/RP-51821-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, le découpage a été réalisé 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.

2. Présentation du référentiel BDLISA

2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION ET ASSEMBLAGE DES ENTITES

2.1.1. Principes de construction

La construction du référentiel repose sur les principes de base énoncés dans le guide méthodologique établi en 2003 (rapport BRGM/RP-52261-FR, 2003, page 11) :

- des règles de découpage sont définies pour **cinq thèmes principaux** : *Alluvial, Sédimentaire, Socle, Intensément plissé, Volcanisme* ;
- le découpage est **homogène** sur l'ensemble du territoire ;
- plusieurs échelles de visualisation sont prévues : **nationale** (1/1 000 000), **régionale** (1/250 000) et **locale** (1/50 000) ; à chacune de ces échelles, correspond un niveau de détail, respectivement : NV1 (niveau national), NV2 (niveau régional), NV3 (niveau local) ;
- le découpage des entités est réalisé sur la base des connaissances actuelles : le découpage est donc **susceptible d'évolution** ;
- l'échelle de travail est le **1/50 000** ;
- les entités hydrogéologiques sont représentées par un ou plusieurs polygones (certaines entités peuvent être disjointes) ; **les polygones sont composés d'arcs** correspondant aux limites d'extension de l'entité ; ils peuvent être caractérisés par un type de limite hydraulique ;
- les entités sous couverture sont délimitées ;
- une **nouvelle codification** est mise en place ; la norme de la codification a été conçue pour rester stable et être utilisée d'une manière durable.

2.1.2. Assemblage des entités

Le découpage a été réalisé à partir du niveau local (NV3), les entités régionales (NV2) étant constituées à partir des entités de niveau 3 et les entités du niveau national (NV1) constituées à partir des entités de niveau 2 (emboîtements successifs).

Une entité hydrogéologique a toujours une « entité mère » hormis pour le niveau national.

La mise au point d'un « **modèle de gestion du référentiel** » développé sous ArcGis a permis de réaliser l'assemblage 3D des entités dans un SIG et de contrôler la cohérence topologique de l'ensemble.

2.1.3. Adaptations de la méthodologie de 2003 dans la construction

Des contextes hydrogéologiques particuliers ou des contraintes opératoires ont parfois conduit à des adaptations de la méthodologie de découpage préconisée dans le guide de 2003, adaptations mentionnées dans ce rapport.

La différence majeure par rapport au guide de 2003 réside dans la distinction faite entre deux catégories d'entités (cf. § 2.5. : « Le modèle de représentation des entités ») :

- les « **Entités principales** », qui ont fait l'objet d'un traitement topologique garantissant la cohérence de leur assemblage 3D ;
- les « **Entités complémentaires** », regroupant différents types d'entités qui ne permettent pas de respecter l'homogénéité du référentiel ou qui constituent des cas particuliers difficilement intégrables dans le cadre général du référentiel au stade actuel de son avancement (cf. § 2.5.). Il en est ainsi des systèmes alluvionnaires des cinq bassins du « projet national » pour lesquels il n'existe pas actuellement de différenciation entre parties productives et non productives. Ces systèmes très ramifiés sont extraits des cartes géologiques ; ils sont transverses par rapport aux entités principales qu'ils recouvrent et n'entrent pas dans les possibilités de traitements topologiques offerts par le modèle de gestion.

2.1.4. BDLISA et le Dictionnaire de données 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 (Service d'Administration Nationale des Données et des Référentiels sur l'Eau) 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.

Au référentiel BDLISA est donc associé un « *Dictionnaire des données* » (actuellement version 2.0 en cours de finalisation). Un scénario d'échange sera également disponible). Ce document a été 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, le BRGM.

2.2. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU REFERENTIEL BDLISA

Le référentiel est construit sur la base d'une subdivision du territoire (France métropolitaine et départements d'outre-mer) en **entités hydrogéologiques** (formations géologiques aquifères et non aquifères) délimitées suivant **trois niveaux de détail** (national, régional et local, cf. § 2.3.2.) et regroupées dans **cinq thèmes** (cf. § 2.3.3.).

À la différence du référentiel BDRHFV1, **les parties non affleurantes des entités sont prises en compte.**

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...). En Aquitaine, par exemple, il y a jusqu'à 32 « couches » d'entités sur la verticale). 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.

Dans le référentiel, les épaisseurs ne sont pas prises en compte mais pourraient l'être ultérieurement. **Le modèle de représentation des entités est dit « 2D1/2 ».**

Le référentiel se présente sous la forme d'un **Système d'Information Géographique (SIG)** permettant :

- de visualiser les entités hydrogéologiques aux trois niveaux de détail retenus pour le découpage ;
- d'obtenir des informations sur les entités grâce à la base de données associée.

Le système de projection cartographique est le **Lambert 93** (RGF93). La gestion du référentiel, à savoir :

- la vérification de la cohérence topologique de l'assemblage des entités ;
- la mise en évidence et les corrections des anomalies éventuelles de découpage ;
- les mises à jour.

est assurée grâce à un ensemble de fonctionnalités développées en liaison avec ArcGis (version 9.2) et constituant le « **Modèle de gestion du Référentiel** ».

Le découpage des entités est réalisé 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.

2.3. LES OBJETS DU REFERENTIEL

2.3.1. Les entités hydrogéologiques

Une entité hydrogéologique est une partie de l'espace géologique, aquifère ou non aquifère, correspondant à un système physique caractérisé au regard de son état et de ses caractéristiques hydrogéologiques. Une entité hydrogéologique est :

- délimitée à une certaine échelle (un « **niveau** », cf. § 2.3.2.) ;
- rattachée à un type de formation géologique (un « **thème** », cf. 2.3.3.) ;
- définie par ses potentialités aquifères (une « **nature** », cf. § 2.3.4.) et la présence ou non d'une nappe libre ou captive ou libre puis captive (un « **état** ») ;
- caractérisée par un type de porosité (un « **milieu** », cf. § 2.3.5).

Les entités hydrogéologiques peuvent être multi-parties.

Le référentiel, assemblage dans les trois dimensions d'espace des entités délimitées, peut être considéré comme un « **modèle hydrogéologique** » d'une réalité complexe, accessible à l'aide d'une information disponible à un moment donné et parfois interprétée faute de données suffisantes.

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 du champ précédent pour désigner une entité de niveau régional contenue dans une entité de niveau national,
- un champ de deux chiffres à la suite des deux champs précédents pour désigner une entité de niveau local contenue dans une entité de niveau régional.

Par exemple :

- **098** (entité de niveau national) ;
- **098AB** (entité de niveau régional) ;
- **098AB01, 118AC03** (entité de niveau local).

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 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'Aquitaniens ;
- Calcaires d'Étampes du Rupélien.

2.3.2. Les niveaux d'utilisation des entités hydrogéologiques

Trois niveaux d'identification des entités hydrogéologiques sont retenus dans cette nouvelle version du référentiel :

- 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)** fournit 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 ponctuelles permettant d'améliorer les connaissances hydrogéologiques (carte piézométrique, carte de vulnérabilité, modélisation...).

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) mais correspondent à des échelles d'utilisation et de représentation de l'information.

2.3.3. 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 :

- **thème « Alluvial »** (codé 1) : ensemble des dépôts de plaine alluviale accompagnés des terrasses connectées hydrauliquement avec les cours d'eau ;
- **thème « Sédimentaire »** (codé 2) : ensemble des formations peu ou pas déformées, non métamorphisées des bassins sédimentaires ;
- **thème « Socle »** (codé 3) : formations magmatiques et métamorphiques ;
- **thème « Intensément plissé de montagne »** (codé 4) : ensemble de formations géologiques récemment plissées appartenant aux massifs montagneux alpins, pyrénéens, languedociens et jurassiens ;
- **thème « Volcanisme »** (codé 5) : volcanisme tertiaire et quaternaire ayant conservé une géométrie, une morphologie et/ou une structure volcanique identifiable.

Le **karst** est considéré comme un attribut applicable aux formations carbonatées des thèmes « sédimentaire » et « intensément plissé ».

2.3.4. L'attribut « Nature » des entités hydrogéologiques

Dans le guide méthodologique de 2003, sept types d'entités hydrogéologiques sont définis (= « Nature » de l'entité) :

- pour le niveau 1 : Grand Système Aquifère, Grand Domaine Hydrogéologique et Grand Système Multicouche;
- pour le niveau 2 : Système Aquifère et Domaine Hydrogéologique ;
- pour le niveau 3 : unité aquifère, unité semi-perméable et unité imperméable.

Un 8^e type d'entité a été ajouté à cette liste : au niveau 1, le Grand Système Multicouches, intégrant sur la verticale une alternance de Systèmes Aquifères et de Domaines.

	Aquifère		Peu ou pas aquifère
Niveau national (NV1)	Grand Système Aquifère (GSA) Code = 1		Grand Domaine Hydrogéologique (GDH) Code = 2
	Grand Système Multicouche (GSM) Code = 12		
Niveau régional (NV2)	Système Aquifère Code = 3		Domaine Hydrogéologique Code = 4
Niveau local (NV3)	Unité aquifère Code = 5	Unité semi-perméable Code = 6	Unité imperméable Code = 7

Illustration 1 - Types d'entités hydrogéologiques et codification.

Le Grand Système Aquifère

Le grand système aquifère est un 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. Le grand système aquifère est une entité de premier niveau (NV1).

Le Grand Domaine Hydrogéologique

Le grand domaine hydrogéologique est un système physique peu ou pas aquifère. Il peut contenir des unités aquifères mais sans grande extension latérale et isolées dans le massif imperméable. Le grand domaine hydrogéologique est une entité de premier niveau (NV1).

Le Système Aquifère

Le Système Aquifère est une 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 : *lithologie, structure, stratigraphie, piézométrie, géochimie, hydraulique.*

La constitution des systèmes est issue de la connaissance à instant donné du milieu souterrain.

Le système aquifère est une entité de niveau régional NV2.

Le Domaine Hydrogéologique

Un domaine hydrogéologique est une 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 critères suivants : *lithologie, structure, stratigraphie, piézométrie, géochimie, hydraulique*.

Le domaine hydrogéologique est une entité de niveau régional NV2.

L'unité aquifère

L'unité aquifère est un système physique élémentaire présentant des conditions hydrodynamiques homogènes, suffisamment conductrice pour permettre la circulation de l'eau souterraine. Une unité aquifère est une entité hydrogéologique de niveau local présentant une perméabilité moyenne supérieure (ou supposée supérieure) à 10^{-6} m/s présentant des ressources en eau suffisante pour être exploitée.

L'unité aquifère 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

Une unité semi-perméable est une entité hydrogéologique de niveau local 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.

L'unité semi-perméable 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

L'unité imperméable est un système physique élémentaire présentant des faibles circulations d'eau. Sa perméabilité moyenne est inférieure à 10^{-9} m/s.

La définition du dictionnaire hydrogéologique français est la suivante : qualifie un milieu théoriquement impénétrable et non traversable par un fluide et en pratique ne laissant passer aucun flux significatif sous un gradient de potentiel hydraulique donné.

L'unité imperméable 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).

Remarque : les unités du niveau local correspondent à la description la plus fine des entités hydrogéologiques pour le référentiel national.

Liaisons entre les entités

Les liens de filiation (illustration 2) en fonction des niveaux d'agrégation 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.

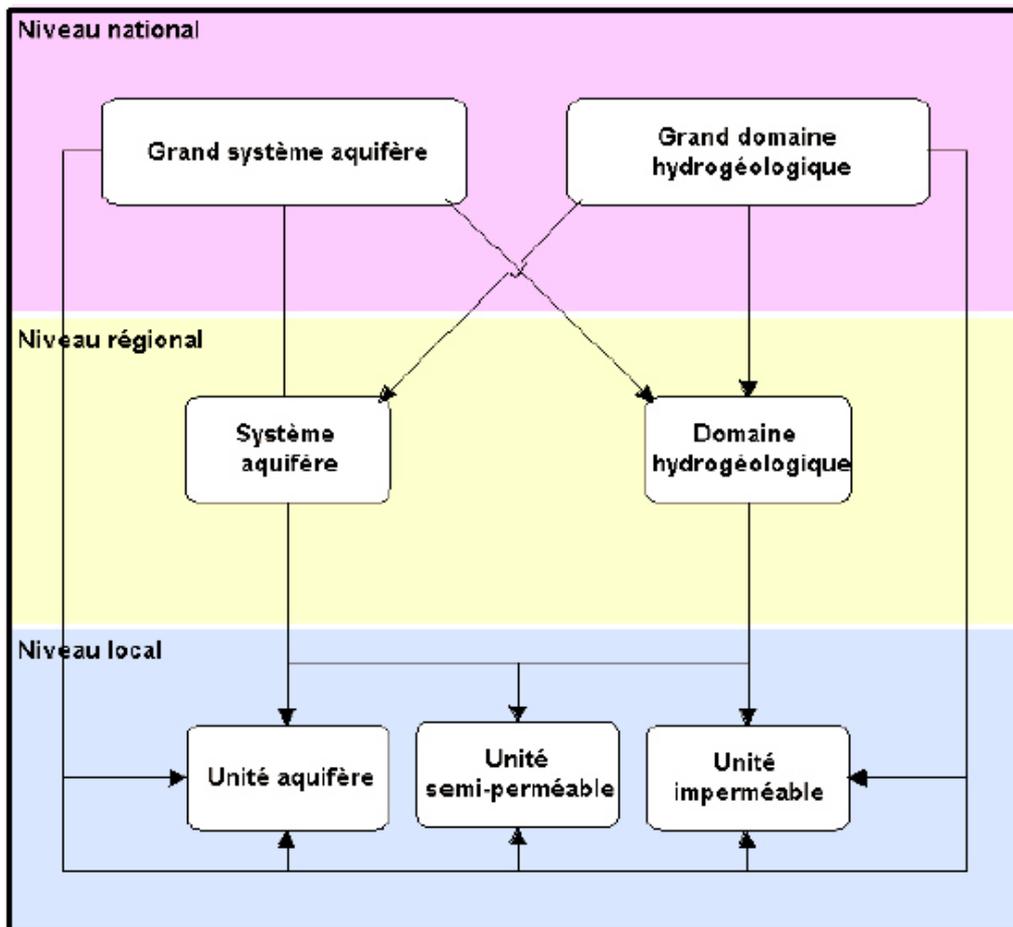


Illustration 2 - Liaisons possibles entre les entités hydrogéologiques.

2.3.5. L'attribut « Type de milieu » des entités hydrogéologiques

Il s'agit du type de porosité caractérisant majoritairement l'entité. Les différents types retenus sont définis dans le tableau suivant :

Type de milieu	Code
Poreux	1
Fissuré	2
Karstique	3
Double porosité : matricielle et de fissures	4
Double porosité : karstique et de fissures	5
Double porosité : fractures et fissures	6
Double porosité : matricielle et de fractures	7
Double porosité : matricielle et karstique	8
Inconnu	0

Le Grand Système Multicouches, non représenté sur ce schéma est une alternance sur la verticale de Grands Systèmes Aquifères et de Grands Domaines Hydrogéologiques.

La double porosité de code 4 est 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).

La double porosité de code 5 est 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).

La double porosité de code 6 est attribuée à une entité caractérisée à la fois par des fractures et des fissures (cas de certaines entités volcaniques en Martinique).

La double porosité de code 7 est 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.

La double porosité de code 8 est attribuée à une entité caractérisée à la fois par une matrice poreuse et par un réseau karstique ayant tous deux un rôle hydrodynamique important.

Remarque. La caractérisation des entités se fait d'abord au niveau 3. **Il ne sera pas toujours possible ou pertinent de caractériser globalement une entité de niveau 2 (et à fortiori de niveau 1) par un attribut unique**, surtout lorsque les entités de niveau 3 constitutives d'un niveau 2 sont de types différents; il en est ainsi du type de milieu (à porosité matricielle, de fissure, karstique, à double porosité) et de l'état de la nappe (libre, captive...).

Cela est vrai non seulement pour un niveau 2 résultant de l'assemblage d'entités de niveau 3 de même ordre absolu (dans le même « plan »), mais aussi résultant de

l'agrégation d'entités NV3 superposées (d'ordres absolus différents), constituant un multicouches.

2.3.6. L'attribut « État » des entités hydrogéologiques

Le champ « État » du référentiel précise le statut de la nappe contenue dans les entités aquifères :

- la nappe est captive lorsqu'elle est confinée entre deux terrains peu ou pas perméables (code 1) ;
- la nappe est libre lorsqu'elle n'est pas limitée vers le haut par des terrains imperméables (code 2) ;
- 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 (code 3) ;
- la nappe est alternativement libre puis captive lorsqu'elle présente des évolutions « libre / captive » au cours du temps (code 4),
- 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 des eaux (code 5).

2.3.7. 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 suivant :

Code	Libellé	Définition
1	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.
2	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.
3	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.
4	Agrégation par héritage	L'ensemble des limites de l'entité hydrogéologique ont été héritées par agrégation des niveaux les plus fins la constituant.

2.4. LE TABLEAU MULTI-ECHELLES

Dans un secteur donné, le tableau multi-échelles récapitule tous les types d'entités existant dans le secteur et les superpose verticalement suivant un ordre stratigraphique. C'est en quelque sorte l'équivalent, au plan hydrogéologique, d'un log géologique synthétique régional. Il constitue le support du découpage projeté aux trois échelles d'identification des entités. Le tableau multi-échelles du référentiel national est fourni dans le CDRom joint à ce rapport.

Les entités intégrées dans un tableau multi-échelles 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, de nombreux tableaux multi-échelles 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.

Toute entité délimitée se retrouve dans le tableau multi-échelles. Le tableau est triple à raison d'un log hydro-stratigraphique par niveau (NV1, NV2 ou NV3).

Le tableau multi-échelles est l'élément structurant du référentiel et l'outil de base du découpage des entités.

2.5. LE MODELE DE REPRESENTATION DES ENTITES

Ce modèle de représentation a été mis au point dans le cadre de cette phase de construction du référentiel (2006-2009). La conceptualisation ne figure donc pas dans le guide méthodologique national de 2004.

2.5.1. Principes sous-jacents

Le « modèle de gestion du référentiel » a été développé sous ArcGis (actuellement version 9.31) et s'appuie sur un modèle conceptuel de données. Ce modèle conceptuel permet d'exploiter de façon optimale la base de données du référentiel sous ArcGis. La construction du référentiel est guidée par les cinq principes suivants.

1) Organisation des entités en « Entités principales » et « Entités complémentaires »

Les « **Entités principales** » font l'objet d'un traitement topologique qui garantit la cohérence de leur assemblage à trois dimensions (3D).

Les « **Entités complémentaires** » regroupent différents types d'entités qui sont telles qu'elles ne permettent pas de respecter l'homogénéité du référentiel ou qui constituent des cas particuliers difficilement intégrables dans le cadre général du référentiel :

- systèmes alluvionnaires (transverses par rapport aux entités principales) ;

- formations superficielles, hétérogènes et morcelées ;
- altérites cartographiées des zones de socle ;
- systèmes karstifiés délimités par des traçages...

Ces entités complémentaires constituent une **surcouche du référentiel**.

Cette structure du référentiel est résumée par l'illustration 3 ci-après.

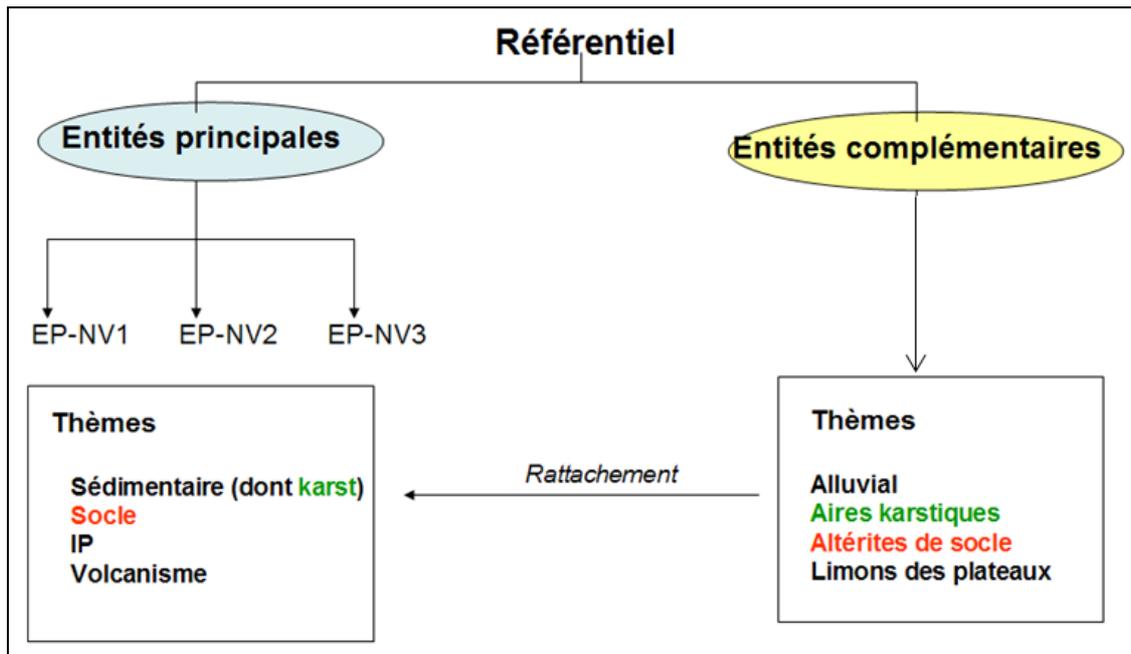


Illustration 3 - Structuration du référentiel : entités principales et complémentaires.

2) Ordonnement vertical des entités en définissant un ordre de superposition

Le modèle de gestion permet de passer d'un ordre dit absolu à un ordre dit relatif (cf. § 2.5.3.).

3) Complétude

Couverture totale de l'espace aux niveaux 1 et 2. Au niveau 3, la couverture n'est totale que dans le « projet national » ; dans le bassin Rhône-Méditerranée et Corse, les entités de niveau 3 délimitées dans le cadre de la synthèse hydrogéologique correspondent uniquement aux aquifères.

4) 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.

5) Héritage

Il découle de 4) : c'est l'héritage des limites (et des attributs si cela est pertinent) du niveau 3 vers le niveau 2, puis vers le niveau 1.

2.5.2. Organisation des entités en deux ensembles

1) Entités principales

Elles constituent l'essentiel du référentiel. Elles sont :

- différenciées et délimitées suivant les règles du guide méthodologique ;
- structurées et assemblées suivant les principes généraux 2 à 5 ci-dessus.

Les fonctionnalités topologiques du modèle de gestion permettent de contrôler la cohérence de l'assemblage 3D de ces entités. Les artefacts de découpage peuvent être mis en évidence et corrigés automatiquement.

2) Entités complémentaires

Elles constituent une « surcouche » du référentiel. Elles regroupent différents types d'entités qui sont telles qu'elles ne permettent pas de respecter l'homogénéité du référentiel ou qui constituent des cas particuliers difficilement intégrables dans le cadre général du référentiel (voir la liste du paragraphe 2.2.1.).

Ces entités peuvent se superposer aux trois niveaux du découpage du référentiel. Un code commun permet de les rattacher éventuellement aux entités principales dont elles sont issues (exemple « altérites de socle » et « entités socle ») ou sur lesquelles elles reposent.

Une entité principale située sous une entité complémentaire (par exemple des alluvions) sera d'ordre 1 comme une entité affleurante.

2.5.3. Ordre absolu et ordre relatif

Dans la phase de construction du référentiel, un numéro d'ordre est affecté à chaque entité délimitée (illustration 4a). Cet ordre est dit « absolu » (codé par exemple sous la forme 10, 20, 30, 40...) et peut correspondre à un âge stratigraphique.

La délimitation des entités conduit à une « pile hydro-stratigraphique » d'entités (le tableau multi-échelles) qui sont ordonnées sur la verticale grâce au numéro d'ordre absolu (par exemple 10, 20, 30..., illustration 4a).

Le modèle de gestion du référentiel permet de passer automatiquement du mode de représentation des entités par ordonnancement absolu (illustration 4b) à un mode de représentation des entités par ordonnancement relatif (illustration 4c), **qui est celui de la représentation des entités dans le SIG** et qui correspond à l'ordre réel de

superposition des entités dans une coupe verticale qui pourrait être réalisée dans le référentiel.

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.

Remarque. Dans l'exemple présenté par l'illustration 4, les entités sont constituées d'une partie affleurante et d'une partie sous couverture, réunies lors de la phase de délimitation. **Le modèle de gestion restitue automatiquement les parties sous couverture.**

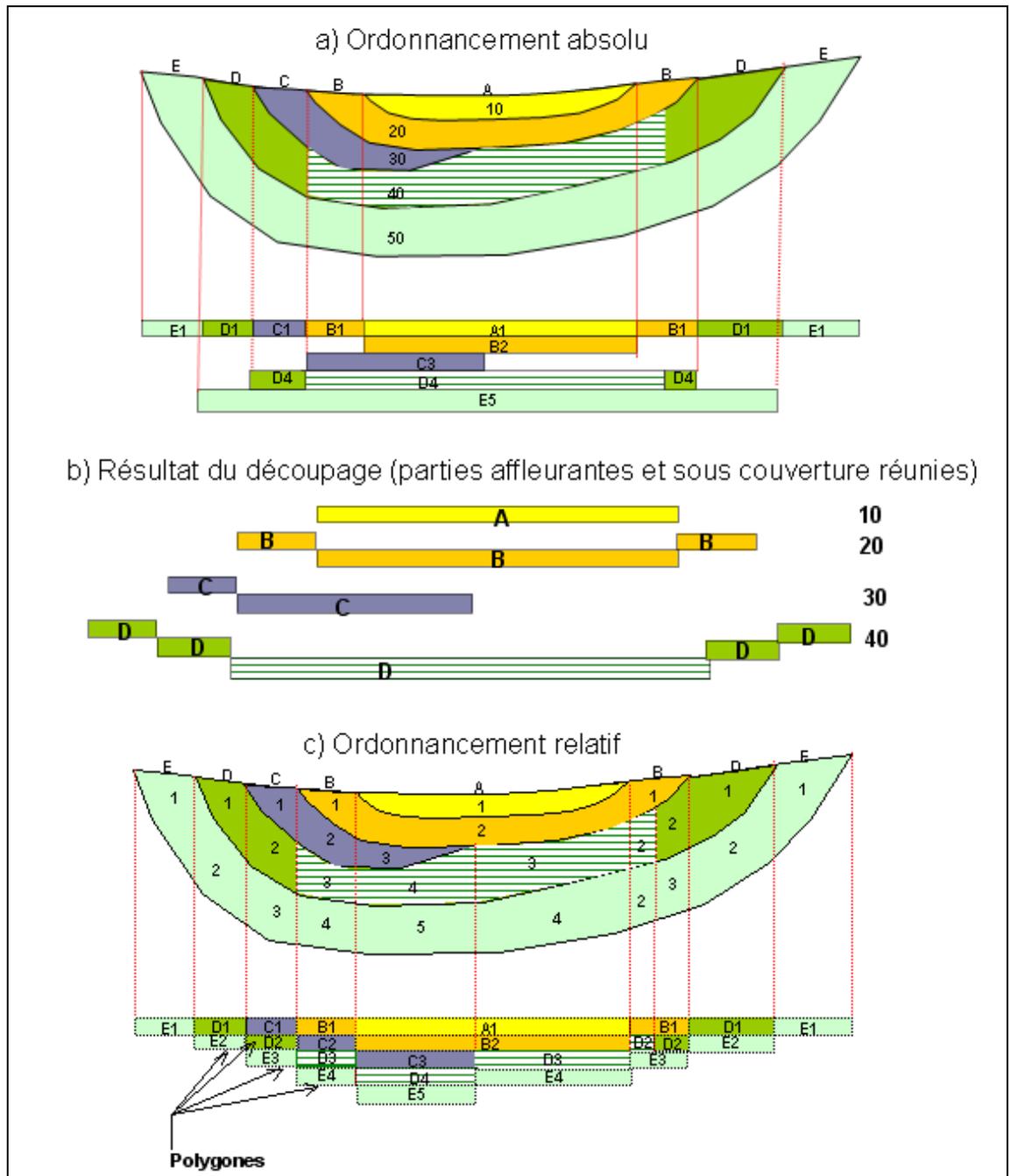


Illustration 4 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités.

3. Méthodologie de délimitation des entités et assemblage par le modèle de gestion

3.1. PRINCIPES DIRECTEURS

3.1.1. Homogénéité du découpage

Le découpage doit être homogène sur l'ensemble du territoire. Pour chaque thème, les critères de découpage sont communs à l'ensemble des régions.

L'échelle de travail adoptée pour le découpage 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 d'identification : local (niveau 3, « NV3 »), régional (niveau 2, « NV2 ») et national (niveau 1, « NV1 »). 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.

C'est aussi le cas des systèmes alluvionnaires, quel que soit le niveau, contrairement au guide méthodologique de 2003 (cf. références bibliographiques) qui préconisait, pour les niveaux 1 et 2, la suppression des « bras » de largeur inférieure à 200 m.

3.1.2. Emboîtement des niveaux

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 (illustration 5). Cet assemblage est réalisé à partir du niveau 3 par le modèle de gestion du référentiel, qui contrôle aussi la cohérence de l'ensemble et signale les anomalies éventuelles.

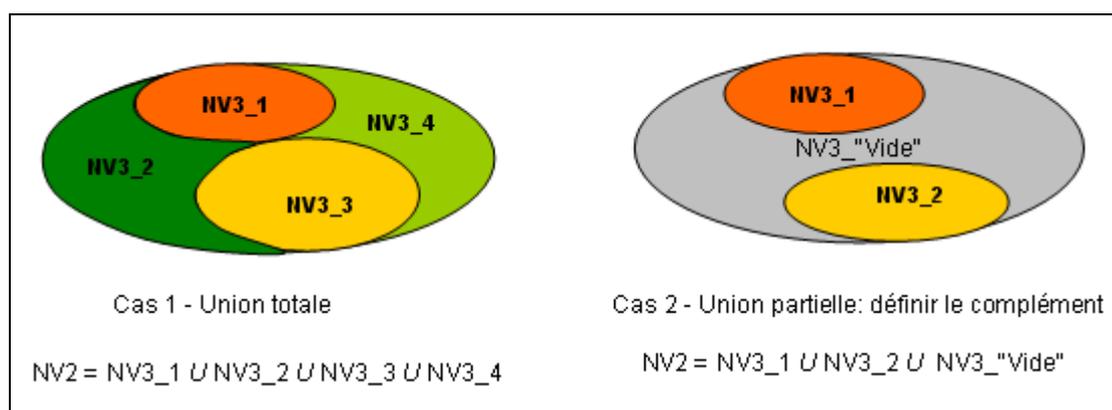


Illustration 5 - Principe de construction d'une entité NV2 à partir d'entités NV3.

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 « $NV2 - \Sigma NV3$ » est ajouté par le modèle de gestion (cas du bassin Rhône-Méditerranée et Corse). Dans le référentiel, cette entité « virtuelle » est

identifiée par l'intermédiaire de l'attribut « Origine » (complétude partielle ou totale, cf. tableau du § 2.3.7.).

3.2. PRINCIPALES ETAPES DE LA DELIMITATION

3.2.1. 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 découpage réalisés lors de la phase méthodologique d'élaboration du référentiel (rapport BRGM/RP-53127-FR, 2004) ont permis de dresser une première liste des entités aux niveaux 1 et 2, liste qui a été parfois complétée, voire modifiée, dans la phase de construction du référentiel.

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

1) Analyse des cartes géologiques

Le découpage 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.**

2) 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, version 1 du référentiel...

3) Rattachement des entités hydrogéologiques aux formations géologiques affleurantes

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.

4) 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 Banque de Données du Sous-Sol 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.

5) Construction du tableau multi-échelles

Une trentaine de tableaux multi-échelles (TME) ont été construits (par région, parfois par département). Le TME est l'aboutissement des étapes précédentes : il hiérarchise les découpages réalisés aux trois échelles, nationale, régionale et locale.

3.2.3. Individualisation de l'alluvial

Le thème « alluvial » comprend l'ensemble des dépôts de plaine alluviale et le cas échéant les terrasses lorsqu'elles sont connectées hydrauliquement aux cours d'eau.

À l'exception de la plaine alluviale du Rhin, les alluvions sont intégrées dans une couche particulière du modèle de gestion (une « **surcouche** », cf. § 2.5.2.).

Dans le « projet national », il n'y a pas eu, au stade actuel de développement du référentiel, de différenciation entre parties aquifères et non aquifères. Les systèmes alluvionnaires ont été extraits des cartes géologiques au 1/50 000 et sont maintenues inchangés dans leurs contours quel que soit le niveau (NV1, NV2 ou NV3).

Dans le « projet Rhône-Méditerranée et Corse », les parties aquifères des alluvions ont été individualisées. Une notion d'enjeu leur est affectée.

Remarques :

Dans le modèle de gestion du référentiel, les entités sous recouvrement alluvionnaire sont donc considérées d'**ordre 1** comme les entités affleurantes.

Les terrasses alluviales dites anciennes, peu aquifères et non connectées aux cours d'eau, ne sont pas prises en compte dans le thème alluvial.

3.2.4. Découpage des entités

Ce travail se fait avec un SIG (MapInfo ou ArcGis), entité par entité, à l'aide des données numérisées intégrées dans le SIG : en particulier les affleurements des formations géologiques, les logs des forages (pour la partie sous couverture), des cartes piézométriques. D'autres documents sont aussi exploités pour préciser les contours en profondeur (synthèses hydrogéologiques, rapports d'études...).

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

3.2.5. Passage au modèle de gestion du référentiel

Les tables (MapInfo ou ArcGis) contenant les contours numérisés des entités (une table par entité) sont assemblées par le modèle de gestion du référentiel qui contrôle la cohérence topologique de l'ensemble (pas de recouvrement d'entités de même ordre relatif, pas de lacunes spatiales...). Les artefacts manifestes de découpage sont

corrigés automatiquement mais des anomalies significatives peuvent être détectées nécessitant une vérification plus poussée et un retour aux tableaux multi-échelles. Plusieurs passages peuvent être nécessaires.

3.2.6. Organigramme

La démarche générale de délimitation des entités est résumée par l'illustration 6.

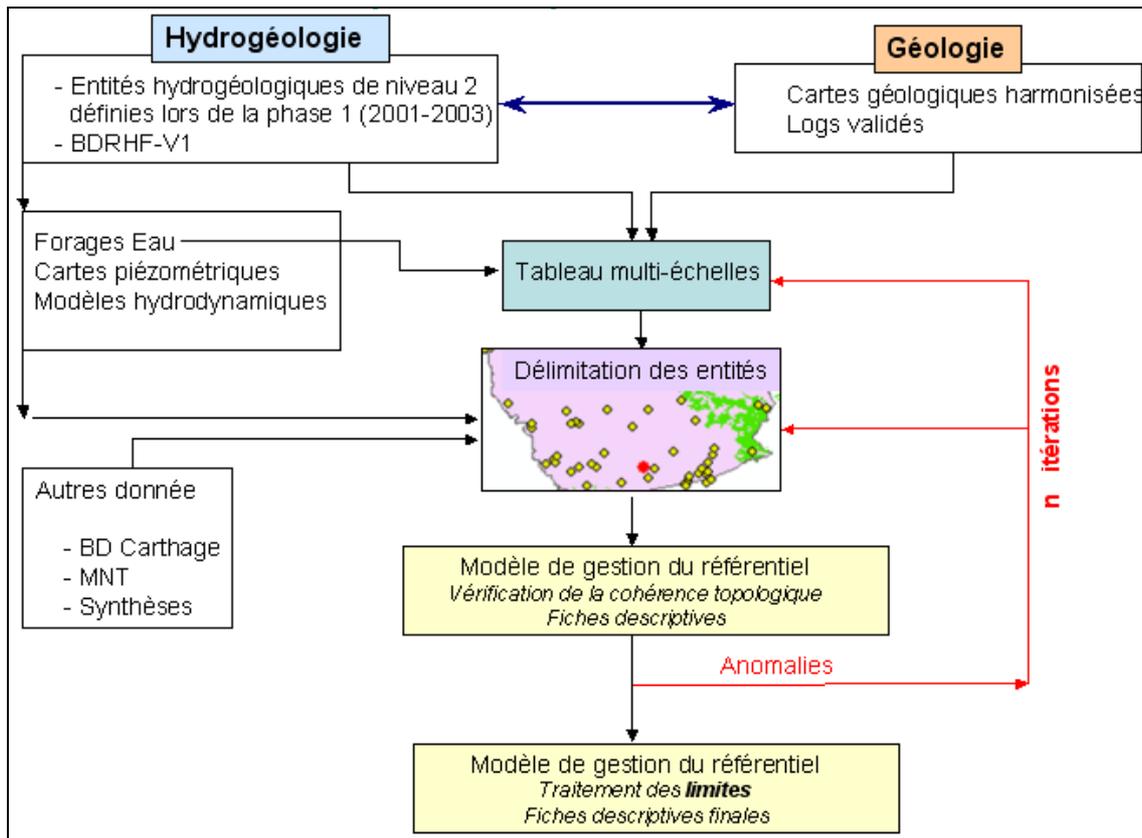


Illustration 6 - Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage.

3.3. NOMBRE D'ENTITES DU REFERENTIEL

3.3.1. Entités principales du territoire métropolitain

Le référentiel actuel comprend :

- 1995 entités de niveau 3 ;
- 719 entités de niveau 2 ;
- 145 entités de niveau 1.

La répartition des entités de niveau 3 en fonction du « thème », de la « nature », du « milieu » et de « l'état » est donnée par les tableaux suivants :

Thème		
Code	Nom du thème	Nombre d'entités
1	Alluvial	16
2	Sédimentaire	1035
3	Socle	497
4	Intensément plissé	347
5	Volcanisme	12
Total		1907

Nature		
Code	Libellé	Nombre d'entités
3	Système aquifère	98
4	Domaine hydrogéologique	133
5	Unité aquifère	943
6	Unité semi-perméable	459
7	Unité imperméable	271
Total		1 904

Milieu		
Code	Libellé	Nombre d'entités
1	Poreux	516
2	Fissuré	630
3	Karstique	330
4	Double porosité : matricielle et de fissures	250
5	Double porosité : karstique et de fissures	154
8	Double porosité : matricielle et karstique	25
Total		1905

Remarque : Les types 6 et 7 (cf. § 2.3.5.) ne sont pas utilisés.

État		
Code	Libellé	Nombre d'entités
1	Entité hydrogéologique à nappe captive	93
2	Entité hydrogéologique à nappe libre	1187
3	Entité hydrogéologique à parties libres et captives	319
4	Entité hydrogéologique alternativement libre puis captive	12
Total		1611

3.3.2. Entités principales dans les DOM

Elles se répartissent comme suit :

	NV3	NV2	NV1
Guadeloupe	22	7	1
Martinique	39	8	1
La Réunion	33	14	1
Guyane	43	38	2

La répartition des entités de niveau 3 en fonction du thème est la suivante :

	Volcanisme	Sédimentaire	Socle
Guadeloupe	11	11	0
Martinique	30	9	0
La Réunion	33	0	0
Guyane	0	8	35

La répartition des entités de niveau 3 en fonction du milieu est la suivante :

	Milieu poreux (code 1)	Milieu fissuré (code 2)	Milieu karstique (code 3)	Double porosité : matricielle et de fissures (code 4)	Double porosité : de fractures et de fissures (code 6)	Double porosité : matricielle et de fractures (code 7)
Guadeloupe	2	2		9	6	1
Guyane	8	35				
Martinique	12		1		16	10
Réunion					33	

4. Formations du thème sédimentaire

4.1. REGLES GENERALES DE DECOUPAGE

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

Dans le thème sédimentaire, une entité est constituée des parties affleurantes et des parties sous couverture représentées les unes et les autres par un ou plusieurs polygones (illustration 7).

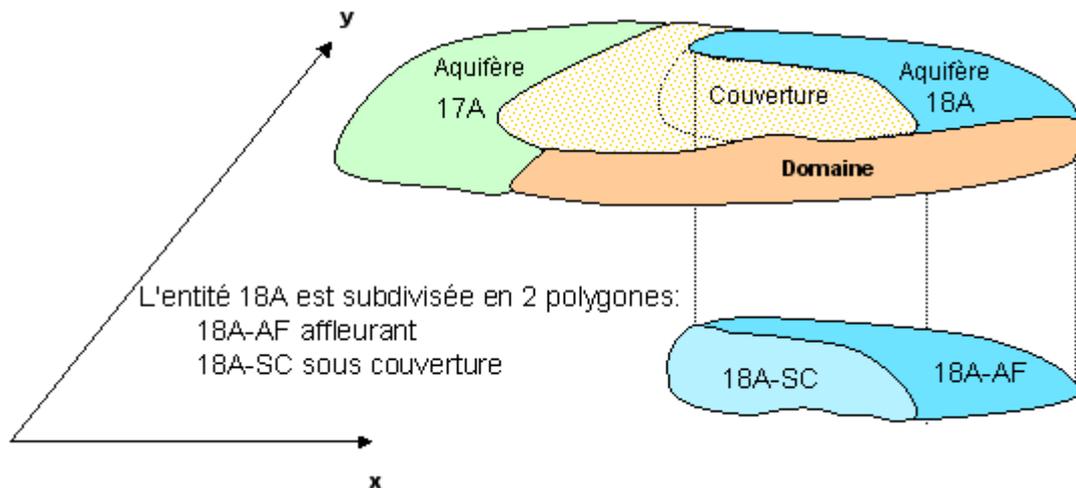


Illustration 7 - Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture.

Quand il y a une partie affleurante et une partie sous couverture, la séparation en entités différentes n'est réalisée que si les conditions le justifient : différence marquée de fonctionnement ou de qualité chimique, surfaces affleurantes et sous couverture à peu près équivalentes.

Les contours des parties affleurantes des entités correspondent aux contours des formations des cartes géologiques au 1/50 000.

Les limites des entités sous couvertures 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. En profondeur, de nombreuses limites seront à considérer comme des limites d'interprétation, modifiables en fonction de la progression des connaissances.

Remarque 1 : lorsqu'une carte piézométrique est utilisée pour le découpage, les limites entre systèmes aquifères sont les crêtes piézométriques et non les cours d'eau (contrairement aux délimitations du référentiel BDRHF-V1).

Les unités aquifères étant définies au niveau 3, la prise en compte de crêtes piézométriques se fait au niveau 3. Un système aquifère (niveau 2) résultant du regroupement d'unités aquifères (NV3) et pouvant intégrer aussi, en moindre superficie, des unités semi-perméables ou imperméables, la reconduction des lignes de crête au niveau 2 ne sera pas toujours possible. Mais cela reste conforme aux recommandations du guide méthodologique de 2003 (rapport BRGM RP-52261-FR, chapitre 2.5) page 16) qui énonce : « *Un système aquifère est une 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 : lithologie, structure, stratigraphie, piézométrie, géochimie, hydraulique* ».

Remarque 2 : dans la définition ci-dessus, il est fait état de subdivision. Comme déjà précisé, la délimitation des entités de niveau 2 s'est faite en général par regroupement d'entités de niveau 3. Cela n'a pas toujours été le cas, par exemple dans le bassin Rhône-Méditerranée, où la réunion d'entités NV3 ne permettait pas toujours de reconstituer totalement une entité NV2. Par contre, le modèle de gestion du référentiel procède par agrégations successives : du niveau 3 au niveau 2 puis du niveau 2 au niveau 1, en créant éventuellement des « entités virtuelles » pour assurer une complétude totale du territoire, identités virtuelles identifiées par l'intermédiaire de l'attribut « Origine de l'entité » (cf. § 3.1.2).

4.2. ÉLABORATION DU TABLEAU MULTI-ECHELLES

Le premier travail consiste à rattacher une entité hydrogéologique à une formation litho-stratigraphique. Ceci est réalisé en trois étapes.

- Dans une première étape, on cherche à rattacher les entités hydrogéologiques à des formations géologiques de la carte harmonisée.

Exemple : la carte géologique harmonisée de la région Centre identifie **168 formations géologiques** dont :

- 2 correspondent aux remblais et au tracé du réseau hydrographique ;
- 23 appartiennent au thème alluvial ;
- 143 appartiennent au thème sédimentaire, réparties de la manière suivante : 49 pour le Tertiaire, 39 pour le Crétacé, 55 pour le Jurassique et le Trias (dont 2 d'altérites et 1 de brèche tectonique).

Une entité hydrogéologique peut être rattachée à une ou plusieurs formations géologiques cartographiées : un exemple en est donné par l'illustration 8 (exemple en Région Centre, cf. rapport BRGM/RP-56055-FR).

- Dans une deuxième étape, on recherche une correspondance entre les formations géologiques locales et celles, régionales, cartographiées dans la carte géologique harmonisée.

La difficulté de cette étape est de parvenir à une correspondance stricte, éliminant par exemple les cas où une formation géologique locale se partage entre deux formations géologiques régionales de la carte harmonisée.

- Le croisement des résultats de ces deux étapes permet d'établir une correspondance entre formations géologiques identifiées dans les logs de forages et entités hydrogéologiques.

Exemple en région Centre (rapport BRGM/RP-56055-FR)

De la Banque de données du Sous-Sol, **13 910 forages** ont été extraits, totalisant **171 348 passes lithologiques** décrites et validées.

Les tableaux des illustrations 8 et 9 fournissent des exemples de correspondance.

Formations de la carte géologique harmonisée	Entités hydrogéologiques	
	Code provisoire de l'entité	Nom de l'entité
Sables et argiles de Sologne (Sables de Châtillon). Sables hétérométriques, quartzo-feldspathiques, et argiles interstratifiées (Langhien supérieur à Pliocène inférieur)	F2C	Formations de Sologne
Cailloutis culminants de la Forêt d'Orléans (Sables de Lozère) (Pliocène)	F2C	Formations de Sologne
Sables de Montreuil, Sables et graviers continentaux (Burdigalien)	F2C	Formations de Sologne
Formation de l'Orléanais et du Blésois : sables, marnes et calcaires de Montabuzard (Burdigalien)	F2C	Formations de Sologne

Illustration 8 - Exemple en région Centre de correspondance entre formations géologiques de la carte géologique harmonisée et entités hydrogéologiques.

Formations géologiques traversées par les forages validés	Entités hydrogéologiques	
	Code provisoire de l'entité	Nom de l'entité
Sable de Montreuil	F2C	Formations de Sologne
Sables et argiles de Sologne	F2C	Formations de Sologne
Marnes et sables de l'Orléanais et du Blésois	F2C	Formations de Sologne
Marnes et sables de l'Orléanais	F2C	Formations de Sologne
Marnes de l'Orléanais	F2C	Formations de Sologne
Argiles de l'Orléanais	F2C	Formations de Sologne
Sables de l'Orléanais	F2C	Formations de Sologne

Illustration 9 - Exemple de correspondance entre formations géologiques locales traversées par les forages validés et entités hydrogéologiques.

Les passes lithologiques ont été rattachées à **344 formations géologiques** différentes, dont :

- 41 alluviales, colluviales ou éoliennes ;
- 114 du Tertiaire ;
- 90 du Crétacé ;
- 96 du Jurassique et du Trias.

Exemple dans le bassin Seine-Normandie (rapport BRGM/RP61826-FR)

2120 notations géologiques ont été recensées à partir des cartes géologiques harmonisées et 838 appellations sont issues des logs géologiques validés.

Le tableau ci-dessous fournit un exemple de correspondance.

Appellation	Nom appellation	NV2	NV3
24090	Calcaire de Provins	113AQ	113AQ11
24180	Calcaires à Potamides	113AQ	113AQ11
24210	Calcaire grossier s.l. d'Ile-de-France	113AQ	113AQ05 113AQ07 113AQ09 113AQ11
24220	Calcaire à Cérithes	113AQ	113AQ07 113AQ11
24230	Falun supérieur de Villiers-Saint-Frédéric	113AQ	113AQ11
24250	Calcaire grossier supérieur d'Ile-de-France	113AQ	113AQ07 113AQ09 113AQ11
24310	Calcaire à Lithocardium	113AQ	113AQ11
24320	Banc vert d'Ile-de-France	113AQ	113AQ11
24330	Calcaires zoogènes lutétiens	113AQ	113AQ11
24370	Falun (Tuffeau) de Damery	113AQ	113AQ05 113AQ11
24380	Calcaire glauconieux à Orbitolites complanatus	113AQ	113AQ11
24390	Calcaire grossier moyen d'Ile-de-France	113AQ	113AQ07 113AQ09 113AQ11
24410	Calcaire grossier à Miliolites (Calcaire grossier)	113AQ	113AQ05 113AQ07 113AQ09 113AQ11
24420	Banc à Verrains (Cerithium giganteum)	113AQ	113AQ11
24430	Calcaire à Ditrupa strangulata	113AQ	113AQ07 113AQ09 113AQ11
24440	Calcaire grossier inférieur d'Ile-de-France	113AQ	113AQ05 113AQ07 113AQ09 113AQ11
24450	Pierre à Liard	113AQ	113AQ07 113AQ11

Illustration 10 - Extrait du tableau de correspondance entre les logs géologiques validés et les entités hydrogéologiques BD-LISA NV2 et NV3 (rapport BRGM/RP-61826-FR)

- Dans une troisième étape, le travail est affiné en utilisant le critère lithologique.
- Le tableau multi-échelles définitif est construit à l'issue des trois étapes décrites ci-dessus.

Dans le bassin Seine-Normandie, le tableau multi-échelles comprend :

- **284 entités de niveau local (NV3)**, dont 61 entités de socle, 118 unités aquifères, 35 unités semi-perméables et 70 unités imperméables ;
- **107 entités de niveau régional (NV2)**, dont 19 entités de socle, 59 systèmes aquifères et 29 domaines hydrogéologiques ;
- **20 entités de niveau national (NV1), grands systèmes multicouches, grands systèmes aquifères ou grands domaines**, dont 2 entités de socle.

4.3. DIFFICULTES RENCONTREES

La première source d'informations recherchée pour identifier les entités hydrogéologiques à prendre en compte est la carte géologique (au 1/50 000) du secteur d'étude (l'échelle d'harmonisation peut être soit la région, soit le département).

Mais dans de nombreux secteurs, cette harmonisation n'existait pas, ou bien, quand elle existait pour deux départements limitrophes, elle n'était pas inter- départementale.

D'où la nécessité d'une harmonisation préalable à l'échelle de la région.

4.3.1. Exemple en Aquitaine

En Aquitaine, au moment de la construction du référentiel, les frontières entre cartes sont rarement concordantes (auteurs différents, époque de réalisation variable entre 1962 et 2007).

Les cartes géologiques à 1/50 000 des départements des Landes et des Pyrénées-Atlantiques ont été harmonisées par les géologues du service géologique régional Aquitaine dans le cadre du projet national d'harmonisation des cartes. En se basant sur leurs travaux, sur leurs indications et sur les notices des cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000, les cartes des départements de la Gironde et du Lot-et-Garonne ont été aussi harmonisées.

Ce travail préalable est souvent complexe en raison de l'évolution des règles de notation des formations et des choix cartographiques des différents auteurs. Par exemple, certains regroupements stratigraphiques ont été opérés mais ils ne conviennent pas aux objectifs hydrogéologiques du référentiel (faciès perméables et imperméables regroupés dans une même formation car de même âge).

L'illustration 11 fournit un exemple de discordance entre deux cartes géologiques adjacentes. Elle montre des colluvions (polygone bleu clair) en vis-à-vis avec des limons de plateaux (en rose) et de la molasse de l'Agenais (en orangé). L'harmonisation est donc indispensable.

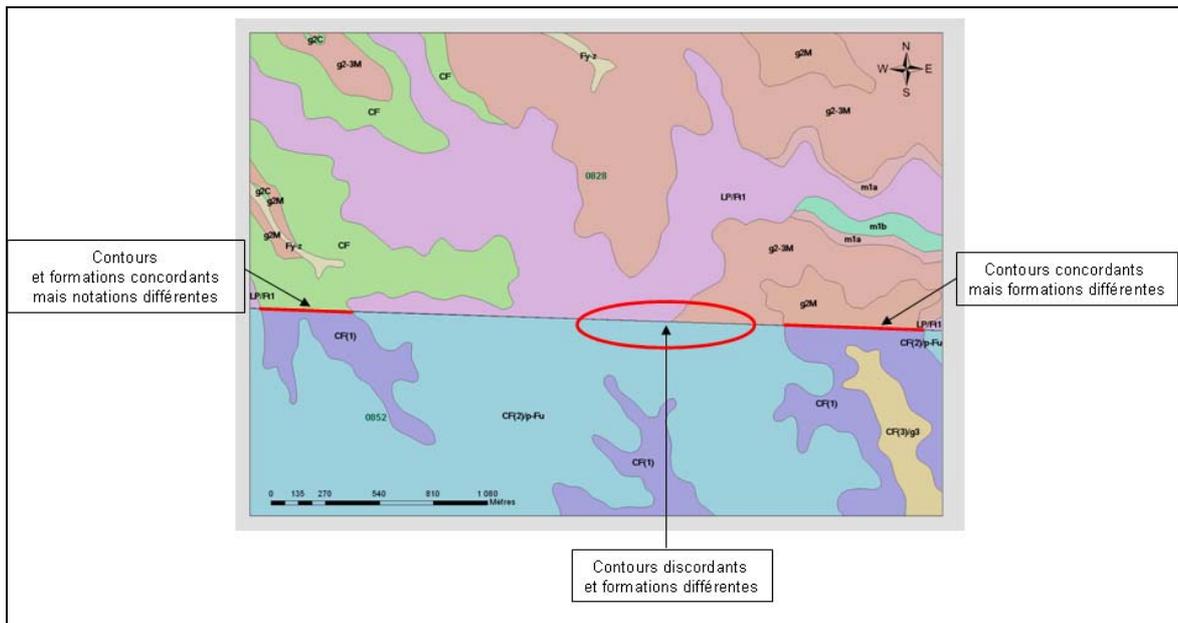


Illustration 11 - Exemple en région Aquitaine de problèmes rencontrés lors de l'harmonisation de deux cartes géologiques à 1/50 000.

Parfois, il a aussi été nécessaire de réaliser un traitement géométrique sur les couches de colluvions, très étendues sur certaines cartes, afin d'obtenir une vision cohérente des couches géologiques sous-jacentes. Ce travail a été très important sur les cartes anciennes de Marmande (n° 853) et de Blaye (n° 779).

Par ailleurs, sur l'ensemble des cartes harmonisées, les formations situées sous le réseau hydrographique ont été reconstituées.

Ainsi, la carte harmonisée n'est pas une simple juxtaposition des cartes géologiques existantes. Elle est le résultat d'une synthèse des données géologiques pour les rendre cohérentes, homogènes et continues indépendamment du carroyage d'origine des cartes à l'échelle du 1/50 000.

4.3.2. Exemple en Pays-de-la-Loire : départements de la Sarthe et du Maine-et-Loire

Dans la carte harmonisée de la Sarthe, 121 formations sont différenciées en domaine sédimentaire (du Pliensbachien à l'Éocène). En Maine-et-Loire, la carte harmonisée en distingue 65, du Pliensbachien au Paléogène. Cette différence importante s'explique principalement par :

- des formations sédimentaires plus développées dans la Sarthe et présentant souvent des variations de faciès notables puisque le département se situe en bordure du Bassin parisien (contextes de dépôts variables dans l'espace et dans le temps selon le niveau des mers) ;
- des cartes harmonisées ne présentant pas le même degré de synthèse. À la différence du Maine-et-Loire, quasiment toutes les variations de faciès sont préservées dans la carte harmonisée de la Sarthe avec parfois des formations décrites uniquement sur une seule feuille géologique et se distinguant uniquement par une appellation locale.

Trois types de difficultés ont été rencontrés.

1) Carte géologique de la Sarthe trop détaillée

La carte géologique harmonisée de la Sarthe s'est révélée trop détaillée et a dû être réexaminée pour être exploitée. Cet aspect est particulièrement ressorti pour :

- les calcaires du Dogger : la carte harmonisée de la Sarthe recense 15 formations différentes ;
- les marnes du Callovien : 19 formations sont différenciées dans la carte harmonisée de la Sarthe pour ce niveau ;
- les formations tertiaires : 16 formations, dont 5 étaient attribuées à des formations superficielles, ont été reprises pour établir les entités BDLISA.

Le nombre important de formations distinguées dans la carte harmonisée de la Sarthe trouve son origine dans les cartes géologiques au 1/50 000. Des formations de nature très semblable peuvent par exemple recevoir une appellation différente ou faire l'objet d'une précision de description différente sur des cartes contiguës, selon l'auteur et l'époque de réalisation (évolution des connaissances).

Afin d'établir une liste des entités délimitables à l'échelle du département, il était nécessaire de vérifier la nature des formations et la stratigraphie pour effectuer les bons regroupements. Une réflexion sur les questions de continuité des contours en latéral (limites de cartes géologiques) et sous couverture a aussi contribué à la sélection des entités à délimiter.

2) Les variations de faciès

Les départements de la Sarthe et du Maine-et-Loire se situent en bordure Sud-Ouest du Bassin parisien. Dans ce contexte, la succession de cycles de transgression/régression parfois associés à des déformations tectoniques confère une relative complexité à certains ensembles de dépôts.

Les variations latérales et verticales de faciès des dépôts sédimentaires se sont révélés complexes et difficiles à retranscrire dans le cadre de la délimitation des entités du référentiel BDLISA. Cette problématique concerne plus spécifiquement les niveaux du Callovien, du Cénomaniens, du Séno-Turonien.

3) Les différences d'interprétations

La révision successive du tableau multi-échelles et des contours des entités, en vérifiant à chaque fois leur cohérence, a permis de recouper les informations entre elles pour mieux s'affranchir des extrapolations ou interprétations liées à l'appréciation des auteurs (au stade des logs, de la validation des logs, de l'établissement des cartes géologiques, de l'harmonisation des cartes).

À l'usage, il est apparu que les informations liées à des appréciations peuvent être source de complexité inutile (même formation avec un libellé différent selon la carte) ou d'erreur (formation mal identifiée). Ceci est d'autant plus vrai dans un contexte comme celui de la Sarthe (faciès littoraux successifs associés à des déformations tectoniques).

Ce recoupement d'informations a aussi permis de mieux apprécier les variations latérales de faciès pour fixer des limites significatives dans des cas où les transitions sont diffuses (zones de transition où les logs validés font ressortir les différents faciès). La transition Marnes de Nogent-le-Bernard / Sables du Mans du Cénomaniens moyen en est un bon exemple.

4.4. EXEMPLES DE DECOUPAGES

Les aspects pratiques de découpages sont détaillés en annexe 1 (traitements réalisés avec le logiciel ArcGis).

4.4.1. Exemple des Calcaires crayeux du Turonien en Aquitaine

La formation des calcaires crayeux du Turonien s'étend au nord de l'Aquitaine principalement sur les départements de la Gironde et de la Dordogne.

La table attributaire qui a été associée à la carte géologique harmonisée précise pour chaque polygone (illustration 12) :

- le code géologique BRGM de la formation à laquelle le polygone appartient ;
- la description du faciès de la formation ;
- le numéro d'apparition de la formation (ordre absolu issu du tableau multi-échelles, noté ici NUM APPARI).

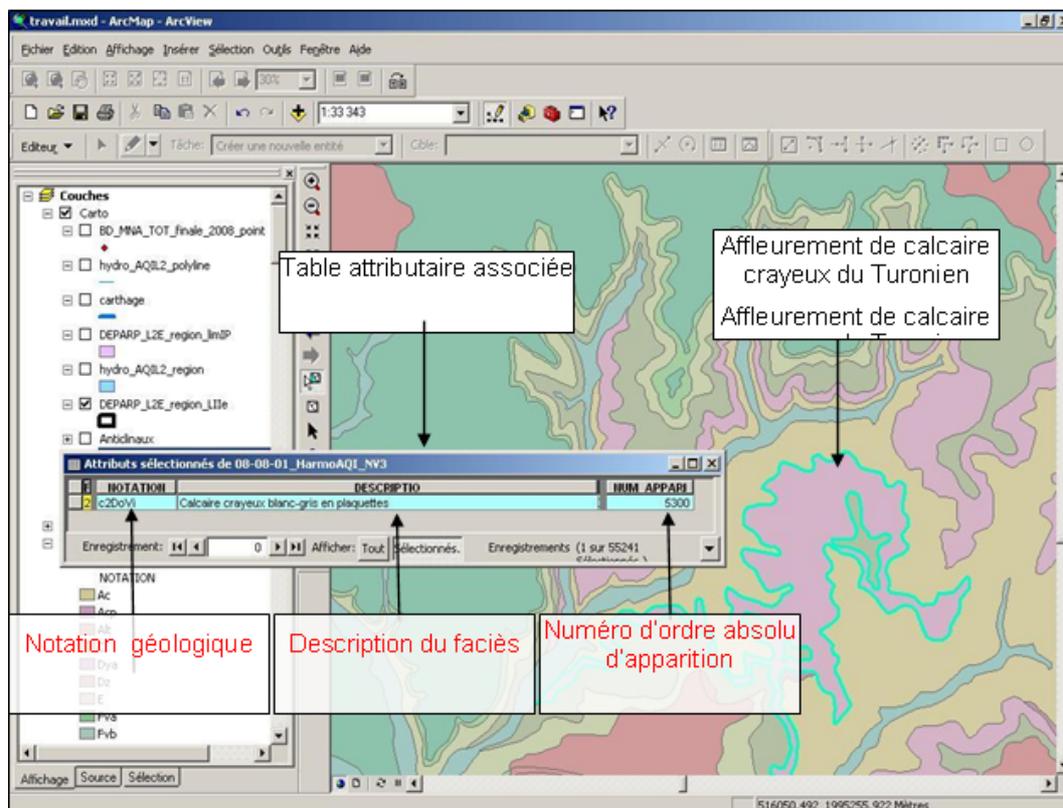


Illustration 12 - Affleurement de la formation des calcaires crayeux du Turonien et table attributaire associée.

Il est ainsi possible d'identifier les affleurements de la formation des calcaires crayeux du Turonien (NUM APPARI = 5300) et les affleurements plus anciens (NUM APPARI > 5300).

Dans un premier temps, l'extension approximative de la formation est tracée à l'écran en fonction des affleurements et des terrains plus anciens. L'usage des forages ainsi que les connaissances du géologue régional permettent d'affiner cette première délimitation (illustration 13a).

L'extension doit inclure l'ensemble des affleurements de la formation (1^{re} contrainte de digitalisation) mais ne peut en aucun cas être présente au-dessus des affleurements plus anciens (2^e contrainte).

Le découpage prend appui sur les terrains plus anciens affleurant (illustration 13b). Il faut ensuite corriger et préciser les contours de l'extension, tout en respectant les contraintes fixées précédemment (illustration 13c).

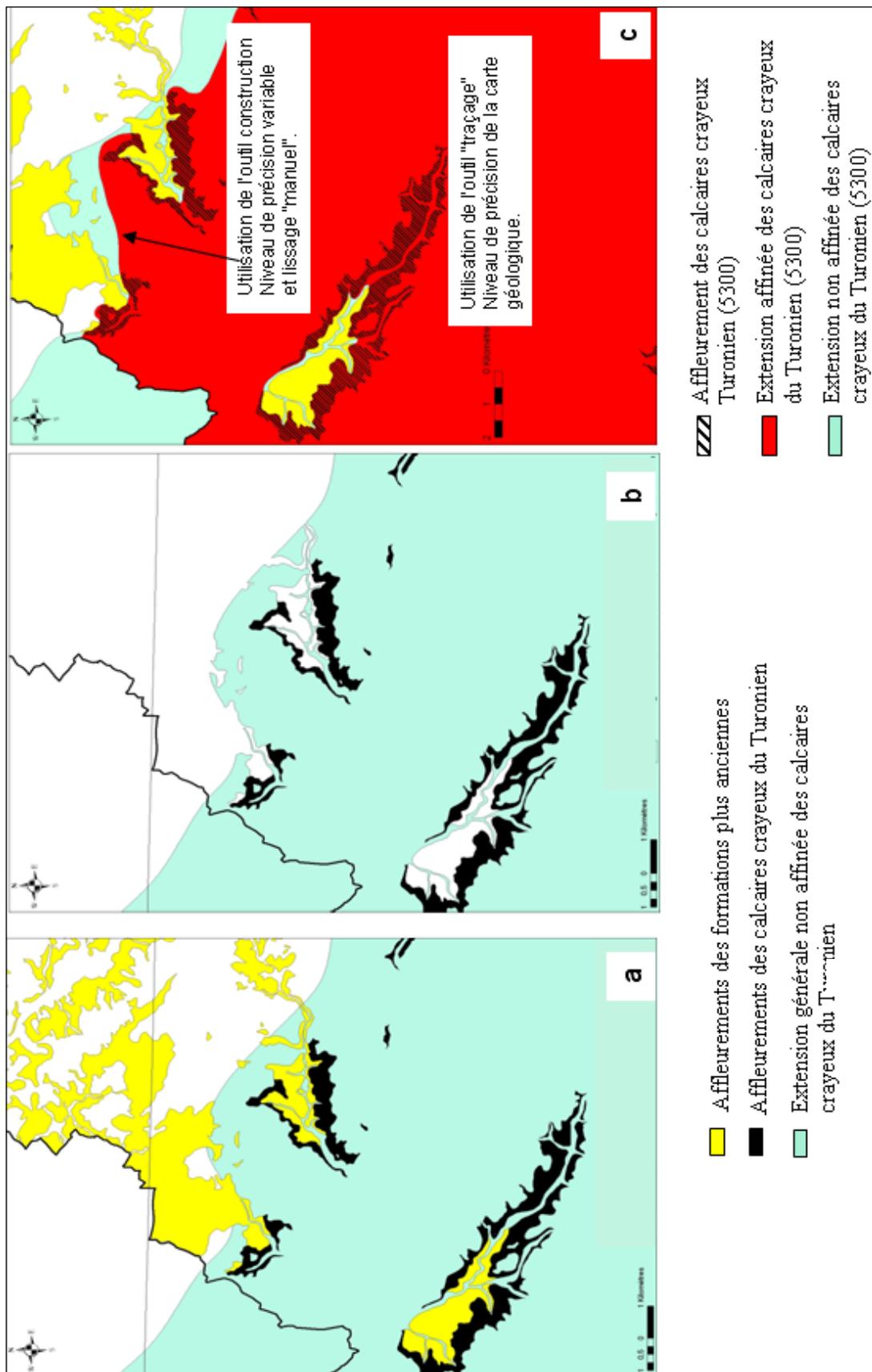


Illustration 13 - Exemple de découpage d'une formation sédimentaire.

L'extension finale (illustration 13c) présente deux niveaux de précision en fonction des données disponibles. Au niveau des contacts entre les affleurements de la formation et les affleurements plus anciens, la précision est la même que celle de la carte harmonisée (contours identiques). Ces contacts constituent les points de contrainte majeurs du contour de l'extension. Ailleurs, plus on s'éloigne de ces points de contrainte, moins le niveau de précision est élevé. En l'absence de contrainte, le contour final de l'extension est identique au contour non affiné.

4.4.2. Exemple de découpage par lignes de crête piézométrique : bassin Loire-Bretagne

- Calcaires de l'Orléanais et de Pithiviers de l'Aquitaniens.

Il s'agissait initialement d'un niveau 2 qui a été découpé en 4 NV3 (illustration 14).

L'entité NV2 107AA est subdivisée en 4 NV3 :

- 107AA01 Calcaires de Pithiviers et de l'Orléanais de l'Aquitaniens, nord du bassin du Cosson ;
- 107AA03 Calcaires de Pithiviers et de l'Orléanais de l'Aquitaniens, bassin du Cosson ;
- 107AA05 Calcaires de Pithiviers et de l'Orléanais de l'Aquitaniens, bassin du Beuvron ;
- 107AA07 Calcaires de Pithiviers et de l'Orléanais de l'Aquitaniens, bassin du Cher et de la Sauldre.

Les lignes de crête « hautes eaux » (HE) et « basses eaux » (BE) près de la limite des bassins Loire-Bretagne et Seine-Normandie (en mauve sur l'illustration), peu marquées, n'ont pas été utilisées.

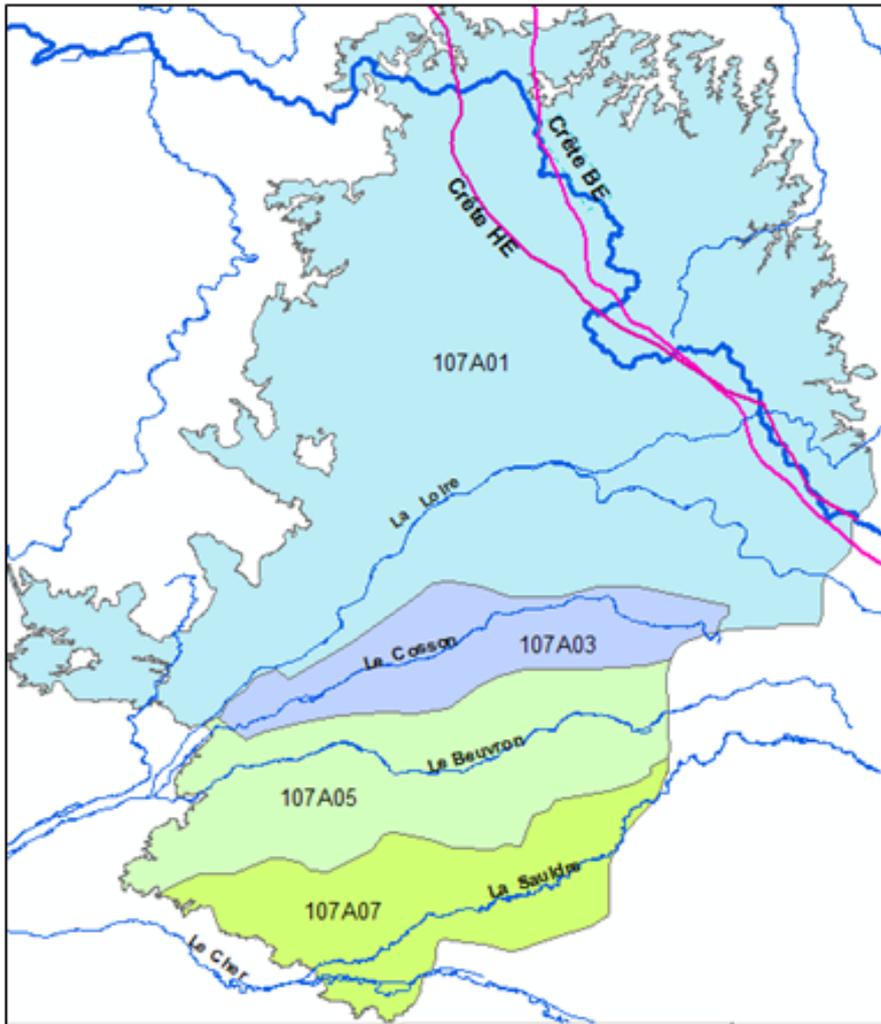


Illustration 14 - Exemple de découpage par lignes de crête piézométrique : Calcaires de l'Orléanais et de Pithiviers de l'Aquitaniens en région Centre.

● Cas de la Craie du Séno-Turonien.

Plusieurs cartes piézométriques ont été réalisées sur le « pourtour » de cette très grande entité (illustration 15).

Dans le bassin Loire-Bretagne, la carte piézométrique réalisée en 2010 a été utilisée. 27 entités NV3 constitutives de la Craie du Séno-Turonien ont été regroupées en six entités NV2 (illustration 16) sur la base d'un découpage par trois lignes de crête principales (entités 121AA, 121AB, 121AC) et par des limites entre parties profondes et parties superficielles (limites des cartes piézométriques, entités 121AE et 121AY).

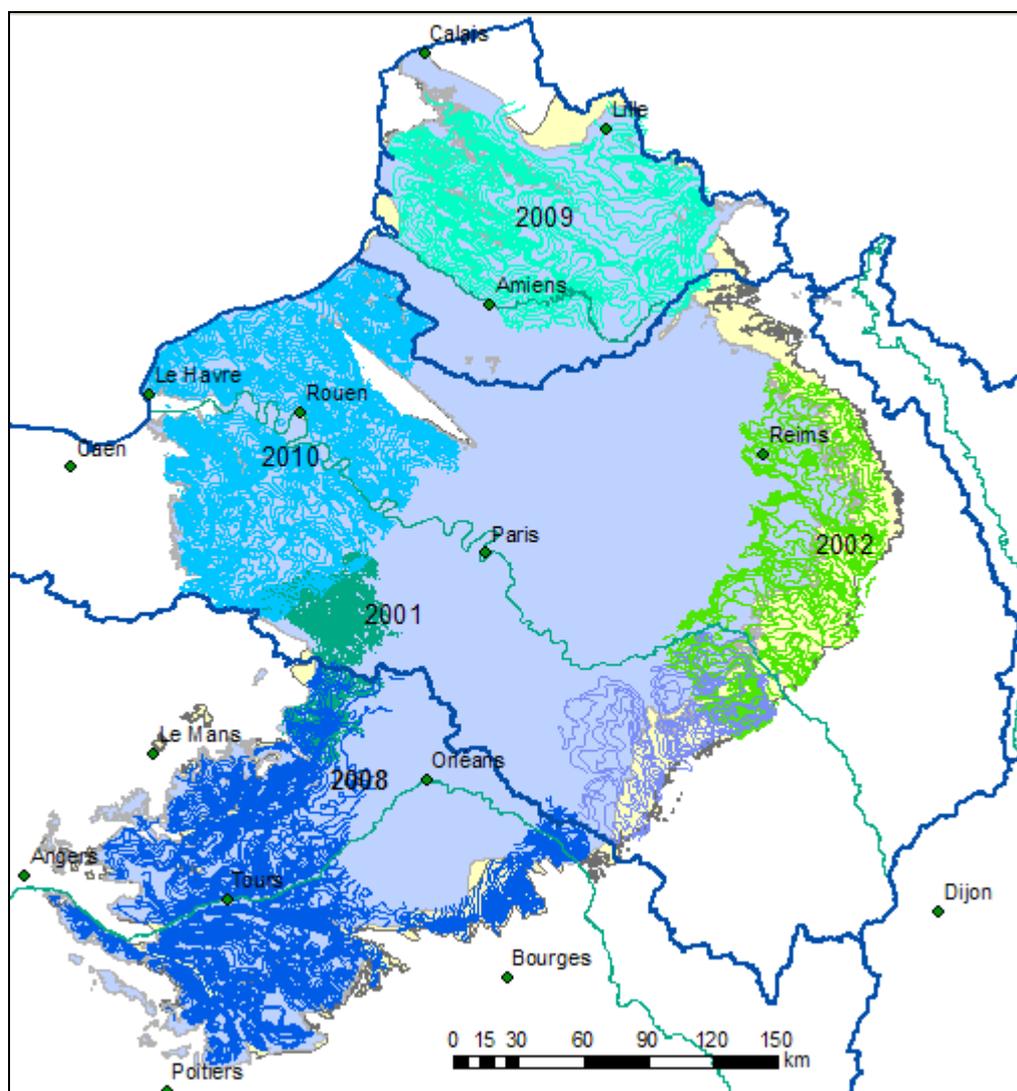


Illustration 15 - Cartes piézométriques de la Craie du Séno-Turonien du Bassin parisien.
(2008, 2010... = année de réalisation de la carte)

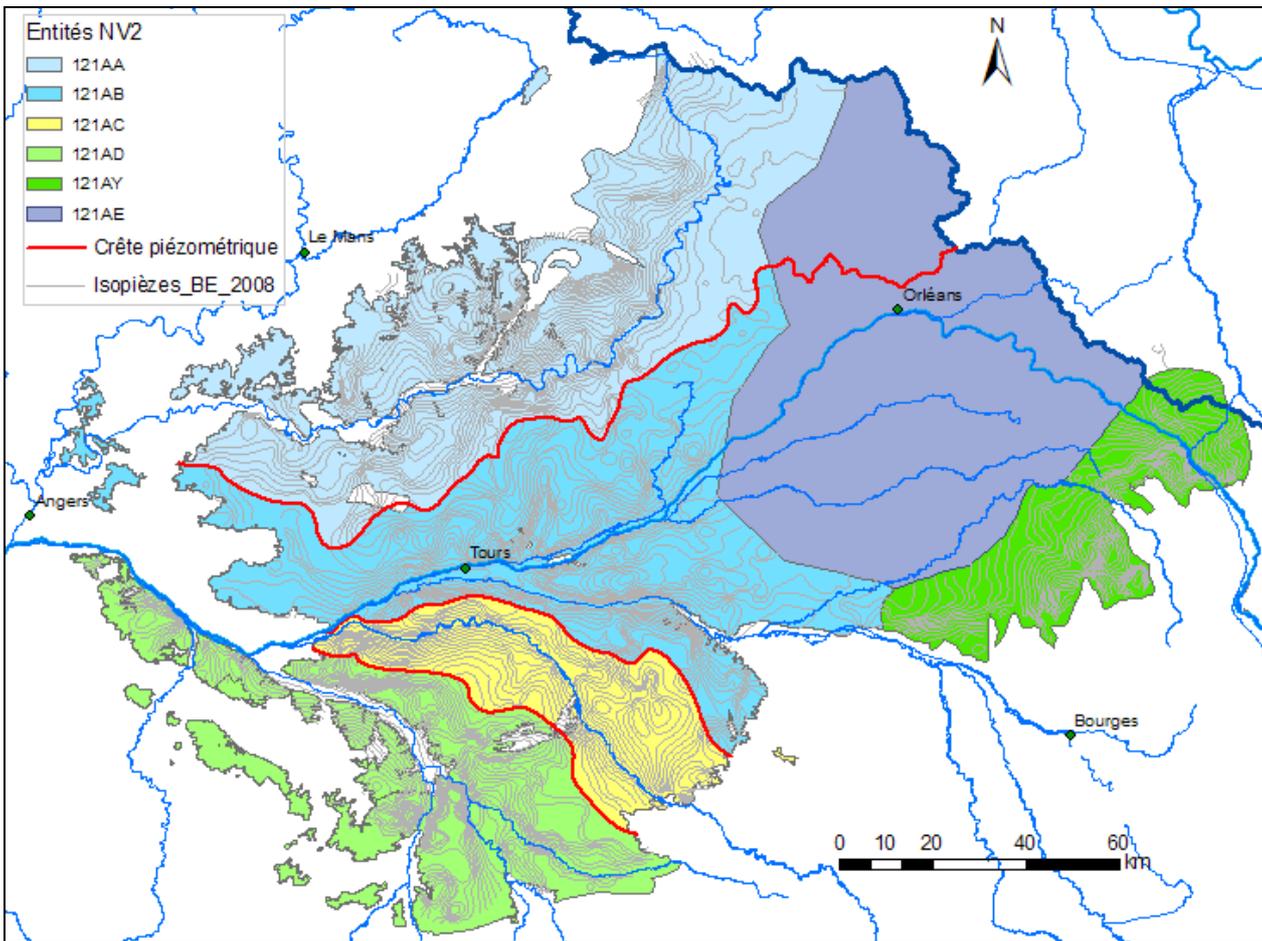


Illustration 16 - Entités NV2 de la Craie du Séno-Turonien dans le bassin Loire-Bretagne : lignes de crête piézométriques utilisées pour la délimitation.

121AA Craie du Séno-Turonien, bassin de la Loire de la Maine à la mer - 121AB Craie du Séno-Turonien, bassin de la Loire de sa source à la Vienne - 121AC Craie du Séno-Turonien, bassin de l'Indre de sa source à la Loire et la Loire de l'Indre à la Vienne - 121AD Craie du Séno-Turonien, bassin de la Loire de la Vienne à la Maine - 121AE Craie du Séno-Turonien, partie profonde dans le bassin de la Loire - 121AY Craie marneuse aquifère du Turonien en région Centre

4.4.3. Exemple de découpage par lignes de crête piézométrique : bassin Seine-Normandie

Extrait du rapport BRGM/RP-61826-FR « Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA – Bassin Seine-Normandie. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 2 et 3 en Seine-Normandie »

Les formations crayeuses représentent la plus grande surface d’affleurement du bassin Seine-Normandie. Elles sont bien délimitées entre le complexe argileux de base (Argiles du Gault-Marnes de Brienne et formations albiennes) et les séries complexes argilo-sableuses de l’Eocène inférieur au toit. Les affleurements dessinent une vaste auréole entourant le Tertiaire de l’Île-de-France. Le réservoir de la Craie (système du Crétacé Supérieur) est constitué par trois faciès principaux pour former une puissante

assise crayeuse d'une épaisseur supérieure à 100 mètres (du plus récent au plus ancien) :

- Craie du Turonien supérieur et Sénonien
- Craie marneuse du Turonien inférieur
- Craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomaniens

Dans le référentiel BD-LISA, le réservoir multicouches a été découpé au niveau 2 par grands bassins versants hydrogéologiques, à partir des grandes crêtes piézométriques considérées comme suffisamment stables. Les formations du Sénonien au Turonien inférieur, regroupées au niveau 2, sont individualisées au niveau 3 et appartiennent au Grand Système Multicouches 121 du Campanien au Turonien (Séno-Turonien). La Craie cénomaniens, localement moins perméable, est identifiée au niveau 2 dans le Grand Système Multicouches 123 du Cénomaniens à l'Albien supérieur du Bassin Parisien.

Les fiches descriptives BD-LISA ont été réalisées par grands secteurs hydrogéologiques, trois fiches ont été ainsi réalisées :

- Craie normande et picarde
- Craie champenoise
- Craie de Bourgogne et du Gâtinais

Dans les formations crayeuses sous recouvrement tertiaire au centre du Bassin Parisien, deux entités NV3 ont été définies et une fiche spécifique a été établie pour chacune d'elles :

- 121AP01 : Craie affleurante ou sous faible recouvrement à l'ouest de la région Ile-de-France
- 121AP03 : Craie du Sénonien au Turonien inférieur, partie sous recouvrement au centre du Bassin Parisien

La carte de l'illustration 17 présente les bassins versants hydrogéologiques retenus pour le découpage des entités de la Craie.

Remarque

Afin d'assurer la cohérence des découpages BD-LISA entre le bassin Seine-Normandie et le bassin Loire-Bretagne, l'entité de la Craie marneuse du Turonien inférieur (ancienne entité 121AU) a été redéfinie en Loire-Bretagne à partir des bassins versants hydrogéologiques utilisés au NV2, conformément à la méthodologie appliquée en Seine-Normandie. Les entités NV3 suivantes ont été créées (cf. illustration 16) :

- 121AA30 : Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur, bassin de la Maine
- 121AB30 : Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur, bassin de la Loire de sa source à la Vienne
- 121AC30 : Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur, bassin de l'Indre et bassin de la Loire, du Cher à la Vienne
- 121AD30 : Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur, bassin de la Loire de la Vienne à la Maine

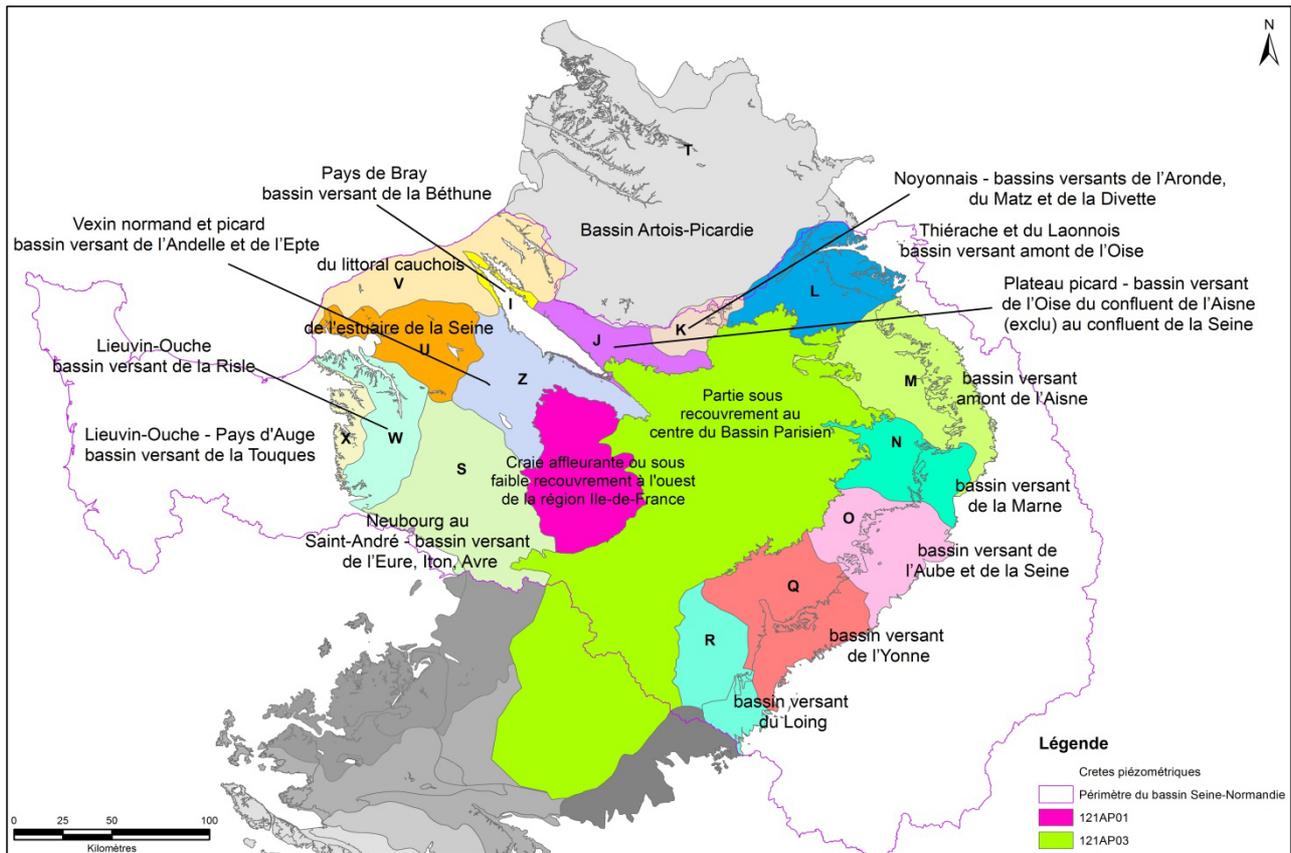


Illustration 17 - Crêtes piézométriques retenues pour définir les entités NV2 de la Craie (rapport BRGM/RP-61826-FR)

4.4.4. Exemples en région Rhône-Alpes

Extrait du rapport BRGM/RP-52261-FR « Actualisation de la synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée. Régions Bourgogne, Franche-Comté et Rhône-Alpes »

Les cartes numérisées et/ou harmonisées n'étant pas encore disponibles lors du démarrage du découpage, les entités ont été tracées au crayon sur des calques. Les parties sous couverture sont tracées grâce aux forages ou sondages ayant traversé, totalement ou partiellement les formations géologiques constitutives de l'entité hydrogéologique concernée, ou grâce aux informations provenant d'études sectorielles.

L'ensemble des calques a ensuite été numérisé. Chaque entité correspond à un ou plusieurs polygones, repérés par un ordre relatif afin de gérer les superpositions.

Plusieurs étapes de validation ont été mises en place au niveau de chaque département avec les acteurs locaux (bureaux d'études, universitaires, hydrogéologues...) pour la validation des contours de chaque entité.

Cas des entités profondes

Concernant les entités sédimentaires profondes de ce bassin, une méthodologie particulière a été adoptée : une modélisation multicouche des principales unités géologiques a été réalisée afin de servir de support :

- à la délimitation des entités hydrogéologiques profondes en région Rhône-Alpes ;
- à la détermination de zones potentiellement favorables à l'implantation de forages profonds pour la recherche d'eau dans l'emprise de la zone d'étude définie en Bourgogne.

La continuité géographique et géologique de l'emprise des deux études et la similitude des objectifs visés dans le cadre de ces projets ont conduit à réaliser un travail unique de modélisation, afin d'obtenir une homogénéité dans la méthodologie employée et dans la qualité des résultats obtenus.

La caractérisation géométrique des entités hydrogéologiques profondes a été effectuée à l'aide des logiciels GDM© et MultiLayer© développés par le BRGM, sur la base des données publiques disponibles à la date du 1^{er} novembre 2007.

La modélisation en isohypses n'est pas applicable dans les zones fortement plissées et/ou affectées par des failles inverses. Dans le contexte régional des études, cette contrainte structurale a restreint le domaine géographique pour lequel une modélisation simplifiée a été possible, au domaine situé entre la bordure orientale du Massif central et le front du domaine subalpin. La zone modélisable se réduit par conséquent à la Bresse méridionale, aux Dombes, au Bas-Dauphiné et au Couloir rhodanien (Illustration 18).

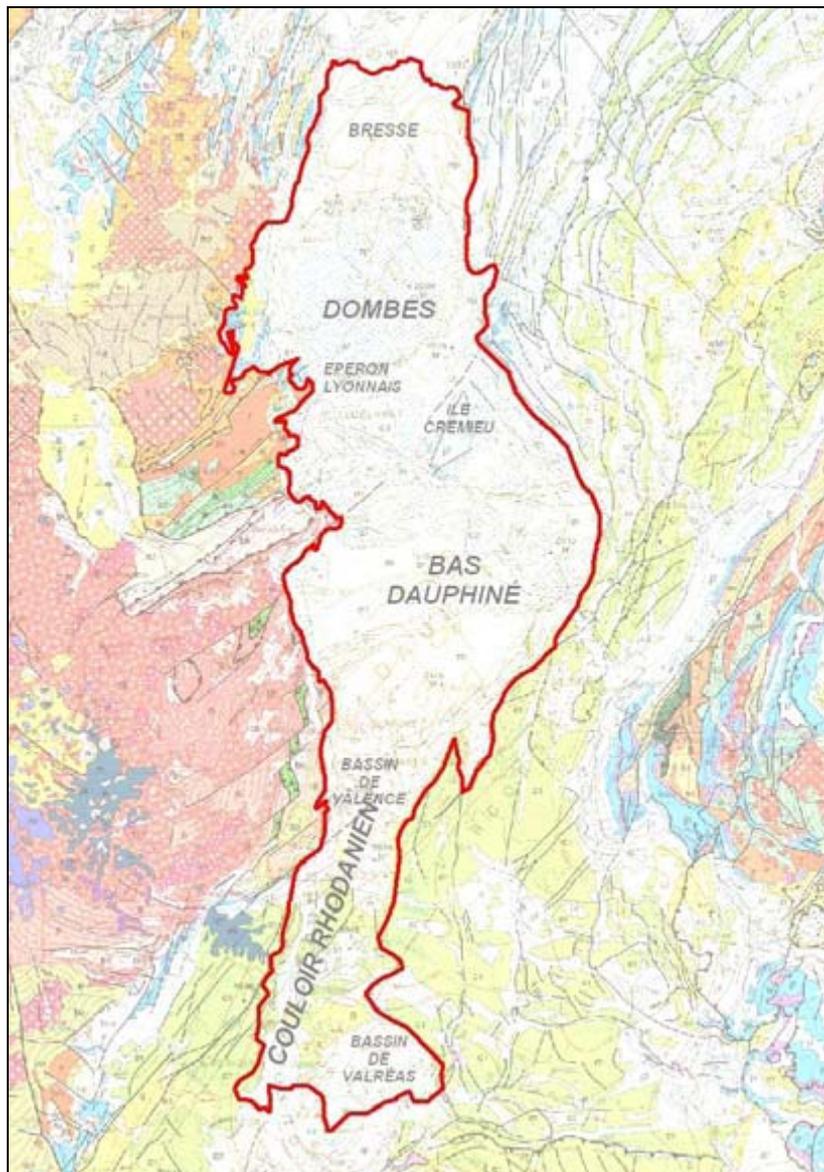


Illustration 18 - Zone modélisable en région Rhône-Alpes pour délimiter les parties profondes des entités (sur fond géologique à 1/1 000 000).

4.4.5. Exemple en région Languedoc-Roussillon

Extrait du rapport BRGM/RP-60305-FR « Synthèse hydrogéologique du Languedoc-Roussillon. Bassin Rhône-Méditerranée » (2011).

Cas des entités sous-couverture

Les limites sous couvertures sont tracées à l'aide des informations apportées par les forages ou sondages ayant traversé, totalement ou partiellement les formations

géologiques constitutives de l'entité hydrogéologique concernée, mais aussi grâce à l'atlas géologique du Sud-Est de la France, ou à dire d'expert.

Par exemple, les *Calcaires urgoniens* de la moyenne vallée des Gardons (département du Gard) sont localement affleurants et s'étendent sous couverture notamment sous des formations semi-perméables tertiaires. L'extension latérale de cette entité est bien connue et les cotes du toit de l'entité ont été bien cernées par des études sismiques et plusieurs forages de recherche et d'exploitation d'eau.

De même, les limites de l'extension sous couverture des *Calcaires jurassiques du Pli de Montpellier* qui plongent vers le Sud, l'Est et surtout l'Ouest sous des formations plus récentes ont été positionnées à partir des éléments disponibles (forages pétroliers, forages d'eau, géophysique, analyse structurale) et de leur interprétation.

Ainsi, en profondeur, de nombreuses limites sont à considérer comme des limites d'interprétation, modifiables en fonction de la progression des connaissances.

4.5. FORMATIONS KARSTIQUES

Un ensemble potentiellement karstique est un ensemble géologique dans lequel les roches carbonatées sont dominantes, où les écoulements superficiels sont rares en dehors des vallées principales (écoulements régionaux) et présentant, localement au moins, des formes karstiques (dépressions fermées, vallées sèches) ainsi que des sources à débit important au voisinage des vallées principales.

4.5.1. Règles de découpage d'après le guide méthodologique de 2003

Le guide méthodologique de 2003 précise que **le karst est un attribut des couches carbonatées délimitées dans un autre thème (sédimentaire, intensément plissé). Il n'est pas identifié comme un thème à part entière.**

Les règles de découpage sont à appliquer en fonction du niveau et du thème concerné.

Niveau local NV3

La délimitation est faite en identifiant les principales unités de drainage (surface souvent inférieure à 50 km²) qui peut être définie à partir de traçages ou de la structure.

Niveau régional NV2

Ce niveau correspond à un découpage en entités ayant un comportement hydrodynamique de type karstique. L'entité sera classée dans le thème sédimentaire ou intensément plissé et aura une porosité de type karstique (code 3 dans le champ « milieu »).

Le découpage consiste à identifier des ensembles séparés par des limites à la fois hydrauliques (zones de drainage vers les émergences) et naturelles, limites de bassin versant, falaises...).

4.5.2. Exemple en Midi-Pyrénées

En Midi-Pyrénées, parallèlement à un découpage du Jurassique moyen et supérieur conformément à la méthodologie générale du thème sédimentaire, des unités karstiques ont été délimitées sur la base de traçages. La solution retenue pour faire coexister ces deux découpages dans le référentiel est la suivante.

1) Découpage inter-régional

Au sein de ces formations du Jurassique moyen et supérieur (illustration 19), trois niveaux aquifères ont été individualisés dans le Causse du Quercy, séparés par les faciès argileux du Bathonien, par les marno-calcaires du Kimméridgien basal et au sommet par ceux développés au Kimméridgien supérieur.

Mais des communications inter-couches peuvent exister localement à la faveur de la fracturation ou de la diminution de l'épaisseur de ces faciès peu perméables. Cette subdivision est donc un choix qui a été fait pour respecter une cohérence dans le découpage inter-régional (Aquitaine / Midi-Pyrénées). En Aquitaine, en effet, trois couches aquifères dans le Jurassique moyen et supérieur ont été distinguées, cette configuration géologique étant bien marquée en Dordogne et Lot-et-Garonne, en lien avec l'augmentation des épaisseurs et de la diminution de la fracturation au sein des épontes.

2) Découpage local en unités aquifères karstiques

Parallèlement, un découpage plus fin en unités karstiques a été réalisé sur la base de données de traçages collectées dans le cadre de l'actualisation de la synthèse hydrogéologique du Lot.

L'ensemble karstique du Jurassique moyen et supérieur a pu être subdivisé au niveau local en 23 unités.

3) Intégration des deux découpages dans le référentiel

S'agissant d'un découpage alternatif, ces unités karstiques ont été intégrées parmi les entités complémentaires (surcouche du référentiel).

Quand cela est possible, les entités complémentaires sont rattachées aux formations dont elles sont issues (par l'intermédiaire d'un code). Comme pour les autres niveaux du référentiel (NV1, NV2 et NV3), la notion d'ordre s'applique aussi aux entités complémentaires, ce qui permet donc de repérer dans l'entité les parties affleurantes et les parties sous recouvrements.

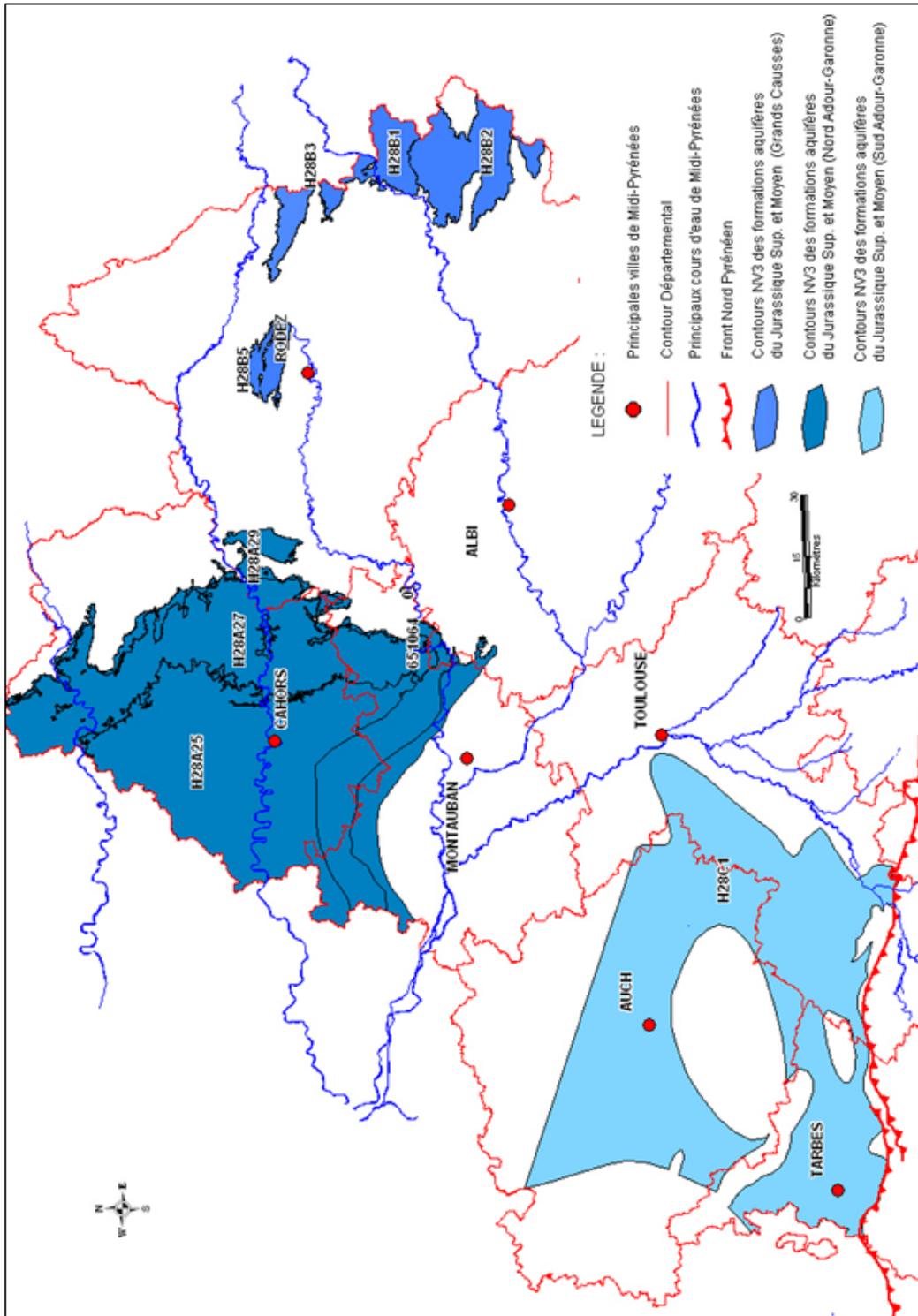


Illustration 19 - Représentation du découpage au niveau NV3 des formations aquifères du Jurassique moyen et supérieur en Midi-Pyrénées (ancienne codification).

4.5.3. Exemple en Languedoc-Roussillon

Le découpage des entités karstiques est basé sur la base des connaissances relatives à l'extension des formations calcaires karstifiées, aux directions de circulation des eaux souterraines, à la position des principaux exutoires et aux aires d'alimentation de ces principales sources karstiques.

Ce découpage tient compte des discontinuités lithologiques et structurales, qui peuvent effectivement représenter des limites pour les entités karstiques.

À l'intérieur d'une entité karstique de niveau 2, en fonction des connaissances actuelles, des entités de niveau 3 ont parfois été délimitées, en ne couvrant qu'une partie de l'entité de niveau 2. C'est notamment le cas pour les formations jurassiques et crétacées du nord montpelliérain. Ainsi, par exemple une entité karstique de niveau 3 a été créée pour le système des Cents Fonts qui est drainé par la source karstique des Cents Fonts. Cette entité, de niveau 3, couvre une partie seulement de l'entité karstique de niveau 2 de la Buèges-Saint-Guilhem, le reste de l'entité de niveau 2 n'ayant pas été cartographié en entité de niveau 3.

Ces entités karstiques de niveau 3 ont été individualisées uniquement pour les systèmes faisant l'objet de connaissances précises (par exemple les systèmes des *Cents Fonts* ou des *Fontanilles*) dans la vallée de l'Hérault. En ce qui concerne l'entité des *Calcaires jurassiques du Pli de Montpellier*, le découpage de niveau 2 s'est appuyé sur les contours géologiques des formations calcaires affleurantes. L'extension sous couverture a été délimitée en fonction des connaissances actuelles en terme notamment de profondeur du toit de ces formations calcaires, profondeur qui est très variable dans l'espace.

Le découpage en niveau 3 de cette entité de niveau 2 relative aux calcaires du Pli de Montpellier est basé sur la situation des principales émergences de cette entité et sur l'extension et la localisation des zones drainées par les sources karstiques. La délimitation tient compte des connaissances actuelles. Concernant cette entité de niveau 2 relative aux calcaires jurassiques du Pli de Montpellier, 5 entités de niveau 3 ont été individualisées en couvrant la totalité de l'entité de niveau 2.

De nouvelles connaissances permettraient éventuellement de mieux préciser des limites pour ces entités de niveau 3. Cela est aussi vrai pour certaines entités de niveau 2, comme par exemple les Causses jurassiques du Nord du département de l'Hérault (Séranne, Larzac méridional, Gangeois, Taurac, ou encore la Buèges).

4.5.4. Exemple en Franche-Comté

Entité karstique NV2 du plateau d'Ornans (515AE, de code RMC 93A)

Extrait de la fiche descriptive de l'entité (cf. Synthèse hydrogéologique du bassin Rhône-Méditerranée) :

« Classiquement, comme pour une grande partie du Jura, le substratum général des aquifères karstiques est constitué des marnes du Lias puis, au-dessus, deux niveaux aquifères se superposent :

- l'aquifère des calcaires du Jurassique moyen ;
- l'aquifère des calcaires du Jurassique supérieur.

Ces deux aquifères sont séparés par les marnes oxfordiennes.

La karstification des deux aquifères est importante et, sur le plateau, il n'y a pratiquement pas d'écoulement de surface. Les vitesses de circulation karstique mises en évidence par traçages vont de 50 à 400 m/h. Les écoulements étant de type karstique, il existe de fortes hétérogénéités dans les caractéristiques hydrodynamiques et dans les vitesses de transfert.

Les exutoires de l'entité sont constitués par les rares cours d'eau qui entaillent profondément le plateau : la Loue au sud, le Cusancin au nord.

Au fond de leur vallée se trouvent de grosses sources karstiques (notamment source bleue et source noire pour le Cusancin, puits de la Brême, source du Maine et source du Moulin des Iles pour la Loue).

Sur le plateau, quelques cours d'eau peuvent s'écouler sur les niveaux marneux mais ils se perdent dès qu'ils passent sur des niveaux calcaires (ex. : Dahon à Valdahon).

Les limites de l'entité, qui sont structurales, peuvent être globalement considérées comme des limites étanches puisque le substratum des marnes du Lias remonte dans ces chaînons anticlinaux. Localement, ces limites peuvent être franchies. En effet, ces structures, d'une part présentent des ensellements qui abaissent le toit des marnes du Lias et, d'autre part, elles sont en plusieurs endroits découpées par des failles ou des flexures décrochantes. Les traçages réalisés ont mis en évidence un franchissement de la structure limite notamment :

- extrémité nord du faisceau de Mamirolle : Orsans, Saint-Juan ;
- extrémité sud du faisceau salinois : Déservillers, source du Verneau.

De nombreux phénomènes karstiques se manifestent par la présence de sources, de gouffres, de grottes et de dolines. D'importants réseaux spéléologiques ont fait l'objet d'exploration dans ce secteur. Le système Brême-Maine-Ecoutot draine le secteur de Valdahon, Vercel, Tarcenay, Montrond et une partie du sous tirage de la Loue. Ce système, d'une superficie de 58 km² est en cours d'exploration, avec un débit supérieur à 30 m³/s en période de crue. C'est le cas aussi du célèbre réseau du Verneau, d'une superficie de 13 km² ayant fait l'objet d'un découpage au niveau local (515AE01, 93A1 : Système karstique du Verneau). Ce système se situe à l'extrémité sud-ouest de l'entité: Son bassin d'alimentation est en plus grande partie sur l'entité mais l'exutoire est lui localisé sur l'entité jointive au sud, 94G (calcaires jurassiques et crétacés du plateau de Champagnole). Le réseau du Verneau, qui totalise plus de 30 km de développement, relie une zone de pertes de grande dimension avec la source du Verneau. Ces pertes jalonnent la limite entre marnes et calcaires. Le gouffre de la

Baume des Crêtes, le gouffre Jérusalem et le gouffre de la Vieille Folle en sont des illustrations.

Le système karstique du Cusancin (515AE02, code RMC 93A2) a été distingué en entité de niveau local. Le Cusancin entaille le plateau calcaire dans la partie nord-est de l'entité. La rivière prend sa source à Cusance, à la faveur de plusieurs émergences karstiques issues de la base de la série calcaire du Jurassique moyen, au contact avec les marnes liasiques imperméables. Des sources karstiques importantes émergent le long de la vallée du Cusancin, notamment les sources de Bléfond et de Pont-les-Moulins. Le Cusancin se jette dans le Doubs à hauteur de Baume-les-Dames.

La Loue, qui traverse la partie méridionale de cette entité, est alimentée en très grande partie par sa source qui se situe sur l'entité adjacente (calcaires jurassiques du plateau de Levier, 515AH, code RMC 94F), sur la commune de Ouhans ».

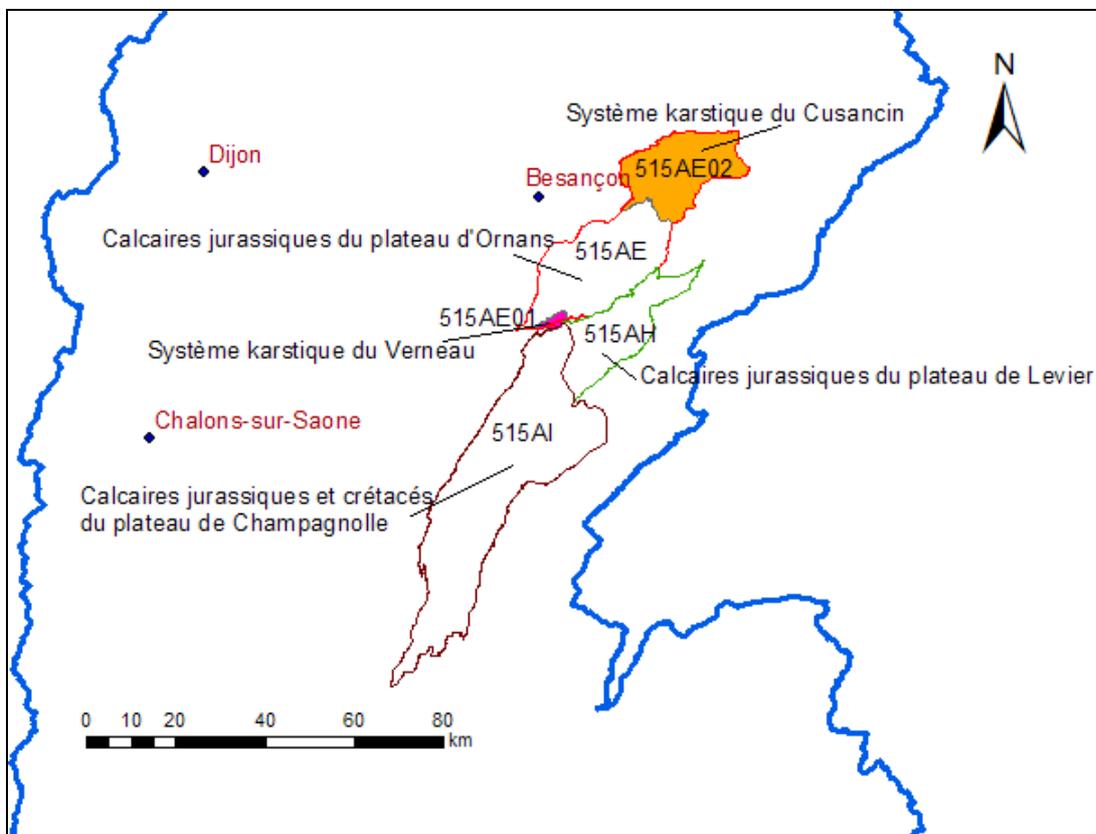


Illustration 20 - Entités NV3 dans l'entité NV2 du plateau d'Ornans.

5. Formations du « thème socle »

5.1. PRINCIPES GENERAUX DE DECOUPAGE SELON LE GUIDE METHODOLOGIQUE DE 2003

Cette méthodologie est présentée dans le rapport BRGM/RP-52261-FR (2003).

Entités NV1

Le découpage est réalisé 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.

Entités NV2

Le découpage se fait aussi par bassin versant. La démarche préconisée nécessite des données de débit en nombre suffisant : stations de jaugeages 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 est le rapport VCN10 / superficie du bassin versant (le VCN10 est la moyenne des débits les plus bas de l'année sur une période de dix jours consécutifs).

Quatre étapes sont prévues dans la méthodologie :

- découpage par subdivision des bassins versants NV1, sur la base de critères morphologiques ;
- caractérisation du QES des bassins versants disposant de jaugeages (critère hydraulique) ;
- affectation d'un QES à chaque entité issue de l'étape 1 ci-dessus (critère hydraulique) ;
- 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).

Entités 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.

5.2. DEMARCHE DE DECOUPAGE DANS LE REFERENTIEL BDLISA

La méthodologie de découpage des niveaux 2 et 3, adaptée au contexte du socle armoricain, où de nombreux forages étaient « renseignés », n'était pas applicable dans la plupart des autres régions de socle en raison :

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

Ces trois difficultés d'application sont toutes rencontrées dans la région Auvergne.

Par ailleurs, il n'est pas toujours possible d'utiliser le critère « *altérites* », comme il est mentionné dans le rapport de restitution du travail fait dans les départements du Maine-et-Loire et de la Sarthe (rapport BRGM/RP-56954-FR, Mars 2009).

Pour pallier ces difficultés, une autre démarche a été utilisée, applicable à tous les domaines de socle du territoire national, et qui permet aussi de préserver le travail effectué suivant la méthodologie générale (appliquée au socle des régions Bretagne et Pays de la Loire).

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.

5.2.1. Exemple 1 : Socle armoricain

Après analyse lithologique (ou hydrogéologique si les données sont suffisantes) et regroupement en classes lithologiques (ou en classes de perméabilité), on procède comme suit :

- intersection de ces regroupements avec, selon les cas, les zones hydrographiques (ZH) ou sous-secteurs (SSH) BD Carthage (illustration 21, départements 49 et 72).
- Calcul dans chaque polygone du % de classe de perméabilité et/ou de lithologie (illustration 22) ;

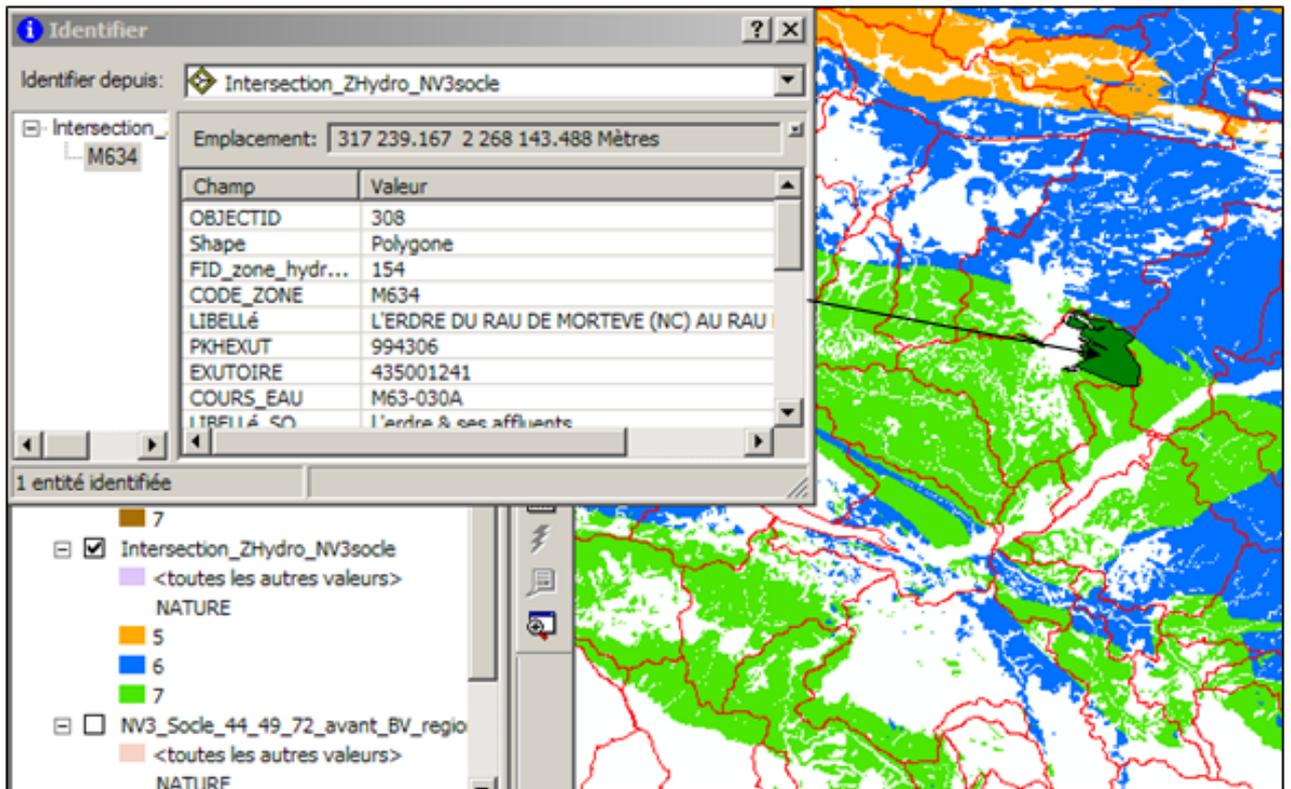


Illustration 21 - Intersection zones hydrographiques BD Carthage avec entités définies suivant méthodologie générale (exemple des départements 49 et 72).

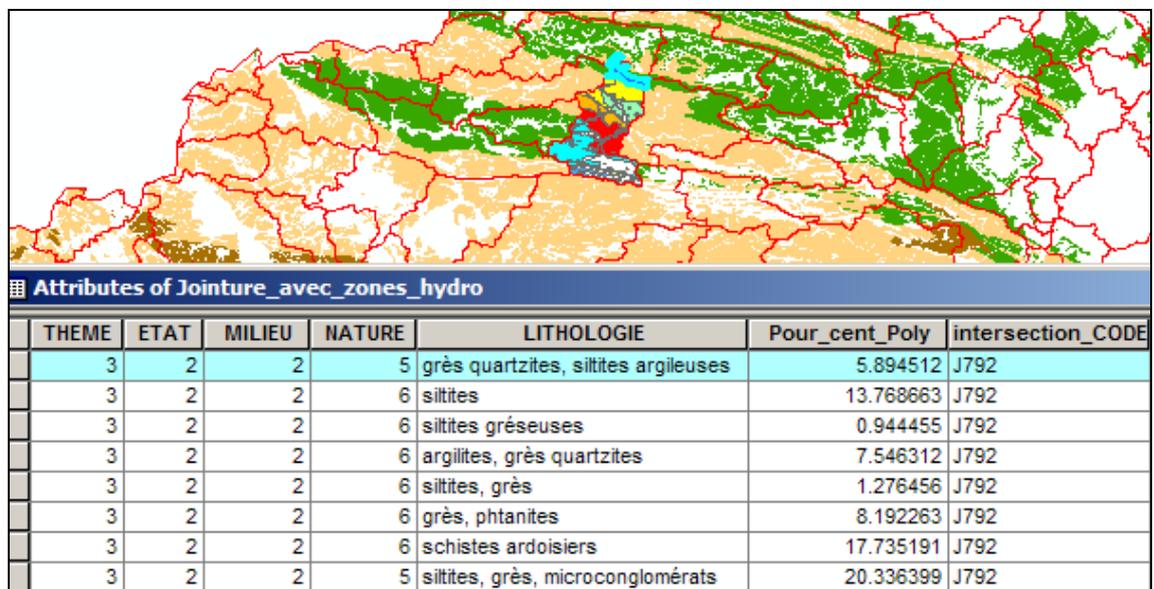


Illustration 22- Calcul du % de la superficie de chaque polygone élémentaire contenu dans chaque bassin versant (ici un bassin de code BD-Carthage J792) caractérisé par un type de perméabilité (champ nature et code 5, 6, 7) et une lithologie (champ lithologie).

- sélection d'une classe de perméabilité ou de lithologie dans la table de l'illustration 22 (avec la perméabilité) soit, en reprenant la codification du guide méthodologique :
 - imperméable (code 7),
 - semi-perméable (code 6),
 - perméable (code 5),
- opération de « récapitulation » par zone hydrographique (puisque plusieurs polygones par zone). On obtient ainsi une table (non géométrique) par classe de perméabilité, puis :
- jointures successives de ces tables avec les zones hydrographiques pour récupérer les contours. On obtient ainsi une table géométrique comme celle présentée par l'illustration 24 (« Entités_BV_nature »), avec dans chaque bassin le % des types de perméabilité : Pourcent_nature 7, Pourcent_nature 6, Pourcent_nature 5 (des polygones étant non renseignés, on n'atteint pas toujours les 100 %).

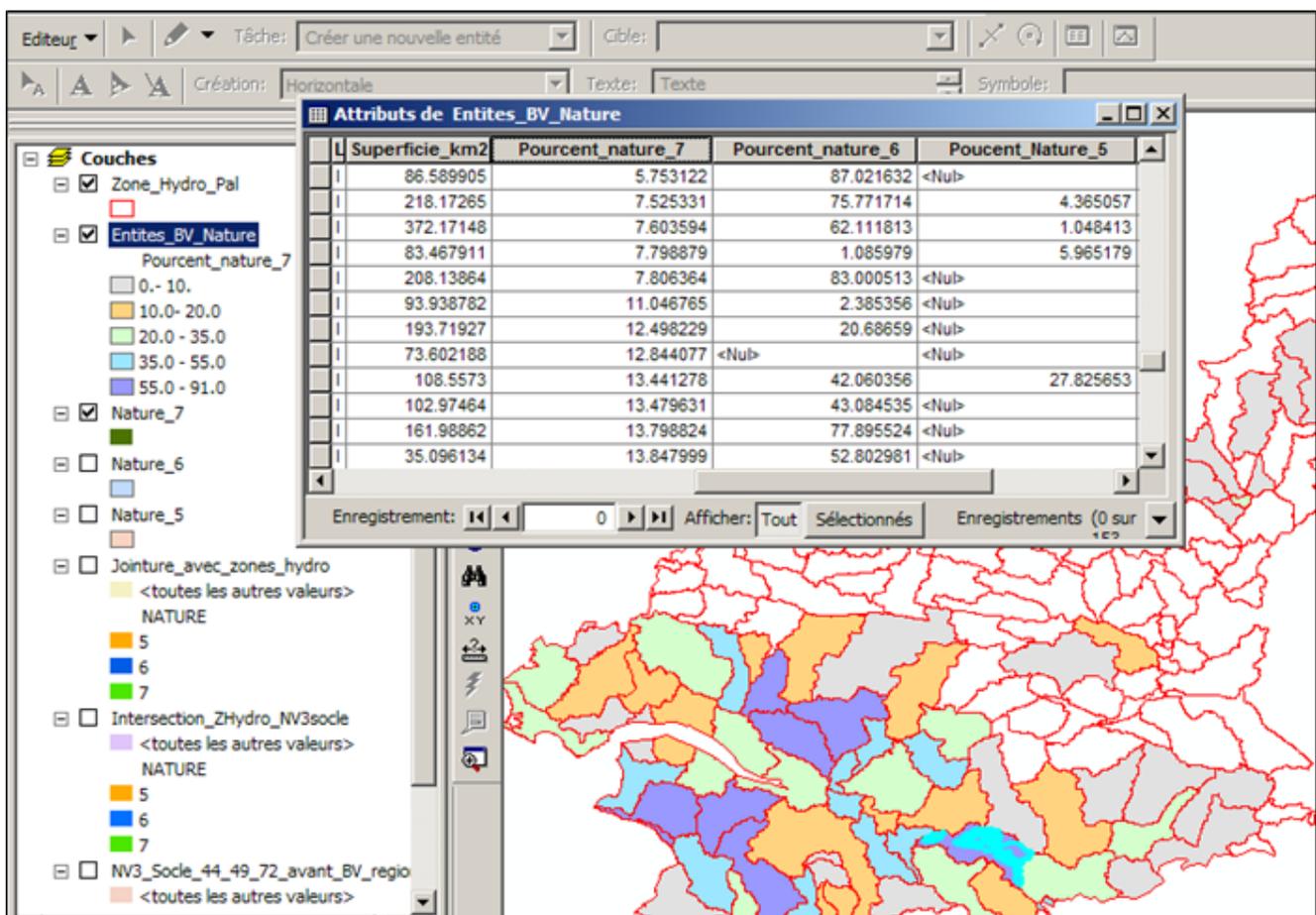


Illustration 23 - Table attributaire après caractérisation des entités par classe de perméabilité (Pays de la Loire).

Quand il n'y a pas possibilité d'avoir des données hydrogéologiques permettant de caractériser le degré de perméabilité des formations de socle, on peut définir des grands ensembles lithologiques : roches plutoniques, roches métamorphiques...

Les différentes opérations décrites ci-dessus permettent d'obtenir différentes caractérisations d'une entité, telles celles présentées par les illustrations 25 et 26.

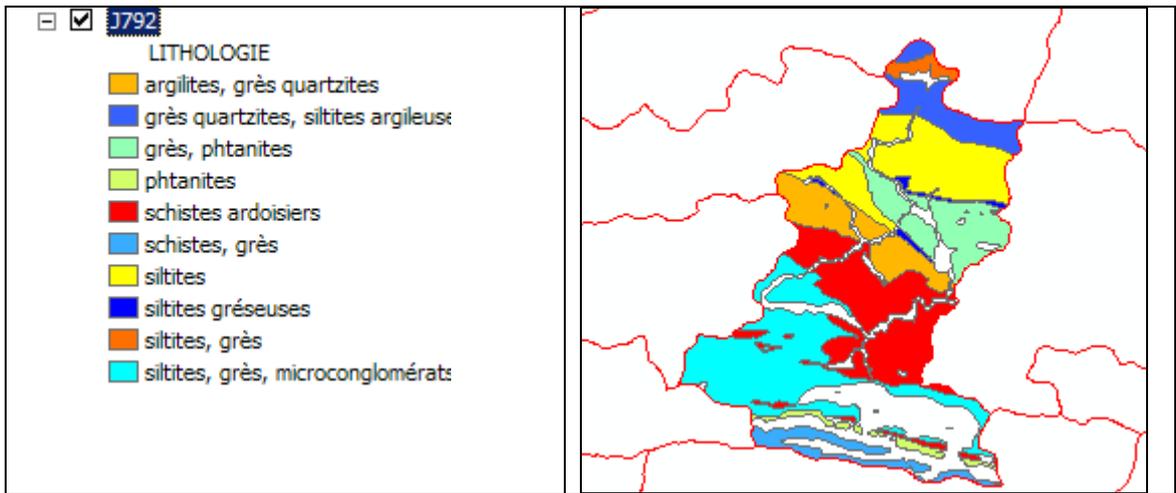


Illustration 24 - Exemple d'une entité caractérisée par une lithologie.

Sélection dans la table attributaire issue de l'étape d'intersection (en blanc les polygones non renseignés)
La lithologie est ici bien détaillée mais peut aussi être réduite à quelques grandes classes

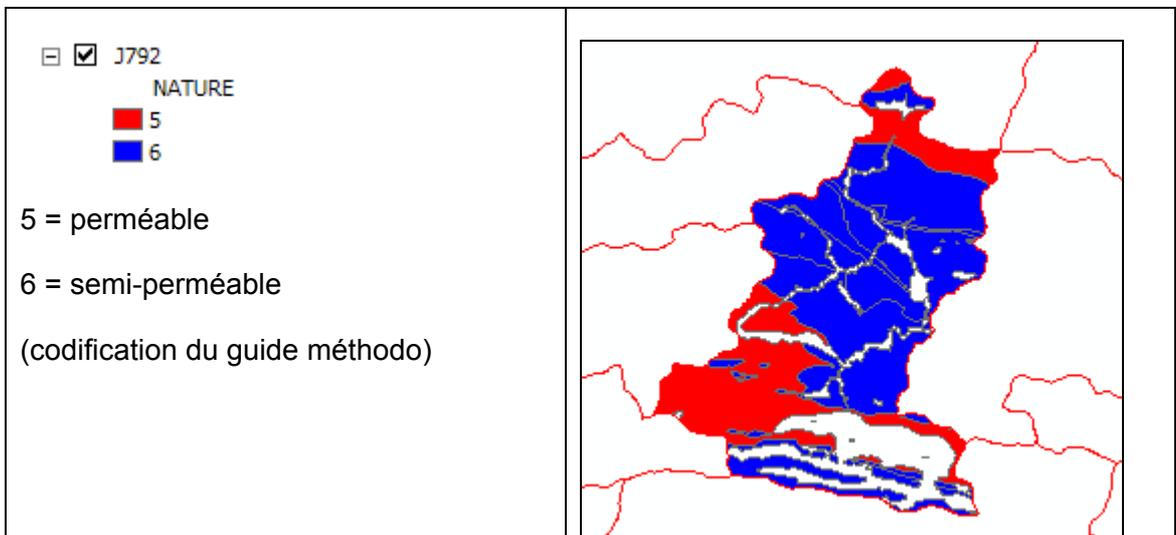


Illustration 25 - Exemple d'un BV-Entité caractérisé par une classe de perméabilité.
Sélection dans la table attributaire issue de l'étape 2 (en blanc les polygones non renseignés)

5.2.2. Exemple 2 : Socle du Massif central en région Limousin

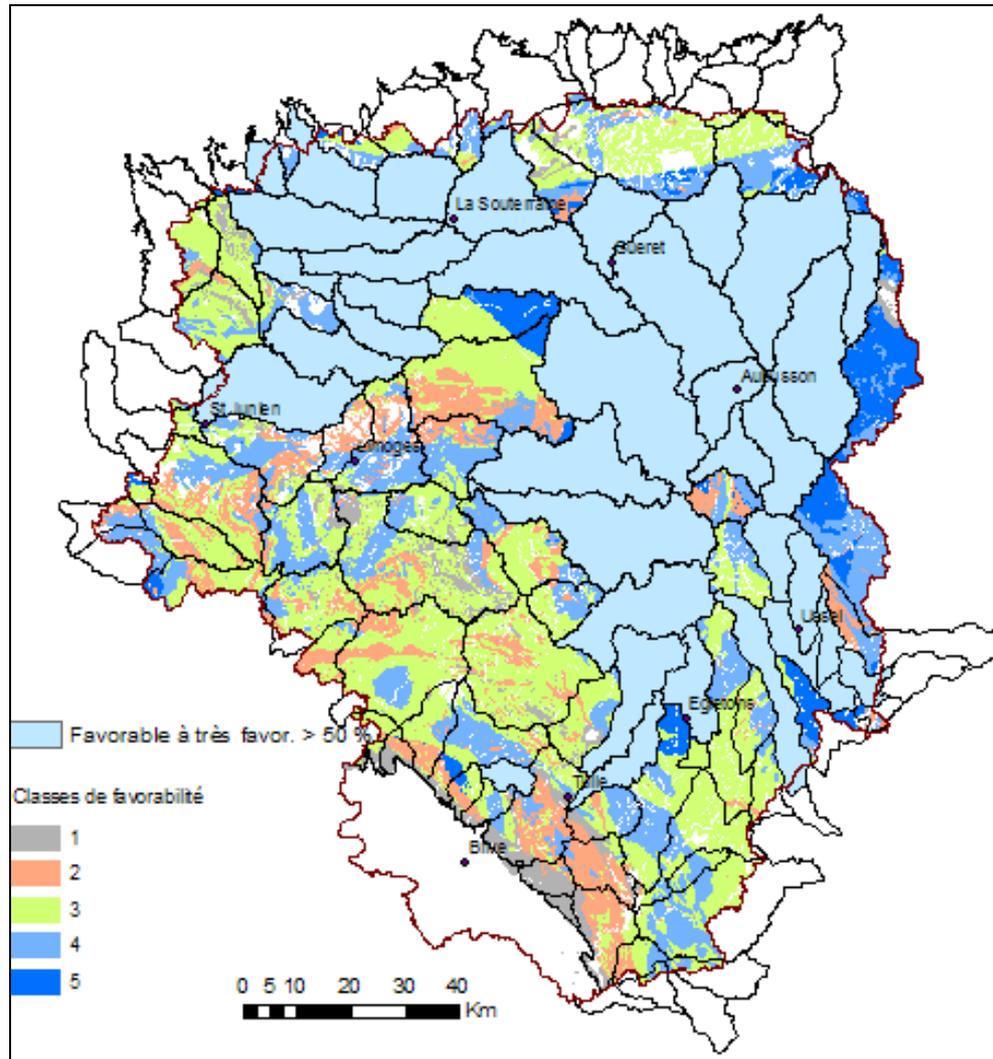
Cet exemple est relatif au socle en région Limousin où les entités NV3 ont pu être caractérisées par un critère « favorabilité » (potentiel aquifère).

Cette caractérisation a été faite avec ArcGis par intersection de la carte du « potentiel aquifère » avec la carte des entités NV3.

Puis, par une suite d'opérations :

- sélections des polygones élémentaires par classe de « favorabilité » ;
- « récapitulations » par entité NV3, conduisant à des tables (non géométriques) où chaque entité est caractérisée par un pourcentage de « favorabilité » ;
- jointures successives de ces tables avec la table des entités NV3 ;

on aboutit à une carte et à une table attributaire associée où chaque entité NV3 est caractérisée par un pourcentage de « favorabilité » (illustration 26). Les classes de favorabilité 4 et 5 ont été regroupées (favorable à très favorable, équivalent de « nature = 5 », perméable), de même que les classes 1 et 2 (défavorable à peu favorable, équivalent de « nature = 7 », imperméable). La classe de favorabilité 3 (moyennement favorable) peut correspondre quant à elle à « nature = 6 », semi-perméable.



Shape *	CODE	Aire_km2	FV4et5_pcent	FV1et2_pcent	FV3_pcent	Total_FV_pcent
Polygone	P1C2	21.933187	3.7	0	96.3	100
Polygone	P0A4	104.616536	76.8	10.4	12.8	100
Polygone	P2-1	17.205592	0	99.8	0	99.8
Polygone	P3C2	32.896832	1.2	84.9	13.4	99.4
Polygone	L4D1	130.036507	82.8	6.9	9.7	99.4
Polygone	K5-2	413.643887	92.6	6.4	0	99.1
Polygone	P3D6	54.823673	3.3	92.2	3.2	98.7
Polygone	P3D1	203.684054	61.1	2.2	35.1	98.4
Polygone	L0B2	419.315648	17	33.9	47	98
Polygone	P1B2	42.938112	48.4	0.4	49	97.8
Polygone	L5A2	192.769261	46.8	0.6	50.1	97.5
Polygone	L4B1	188.998913	97.3	0	0	97.3
Polygone	L4A1	97.539569	49.1	41.5	6.3	96.9

Illustration 26 - Table attributive après caractérisation des entités par classe de potentialité aquifère.

En résumé

1) Une table attributaire ainsi construite,

Code_Entité	Thème	État	Milieu	Nature-5 (%)	Nature-6 (%)	Nature-7 (%)	Litho-1 (%)	Litho-2 (%)	..	Litho-5 (%)
E1	3	2	2	55	30	10	<nul>	<nul>		<nul>
E2										

qui permet de caractériser une entité Ei par sa nature plus ou moins perméable (ou, à défaut, sa lithologie) exprimée en % de la superficie de l'entité (Champs Nature-5, Nature-6 et Nature-7).

On peut ne pas arriver à 100 % compte tenu des formations de recouvrement.

Opérations possibles :

- 1) sélection des entités où les formations perméables (nature_5) occupent plus de 50 % de la superficie de l'entité ;
- 2) ou bien caractérisation des entités par le % d'un type de nature.

S'il n'est pas possible de caractériser les entités hydrogéologiquement, on les caractérise lithologiquement à partir des cartes géologiques.

Lexique lithologique (à particulariser en fonction de la région). Exemple :

- Litho-1 = Roches plutoniques fracturées ;
- Litho-2 = Roches métamorphiques fracturées ;
- Litho-3 = Roches métamorphiques compactes ;
- Litho_4 = Sédimentaire ancien ;
- Litho_5 = ...

C'est évidemment moins précis que la caractérisation par classe de perméabilité (car dans le plutonique, il peut y avoir du plus ou moins perméable) mais cela apporte quand même une information.

Mêmes opérations possibles que celles ci-dessus.

2) Une table plus détaillée : l'entité est décomposée en plusieurs polygones (tableau ci-dessous).

THEME	NATURE	ETAT	MILIEU	NIVEAU	LITHOLOGIE	CODE_ZONE	LIBELLÉ_1	Superficie	Pour_cent_Lithol
3	5	2	2	3	grès quartzites, siltites argileuses	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	5.89451
3	6	2	2	3	siltites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	13.7687
3	6	2	2	3	siltites gréseuses	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	0.944455
3	6	2	2	3	argilites, grès quartzites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	7.54631
3	6	2	2	3	siltites, grès	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	1.27646
3	6	2	2	3	grès, phtanites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	8.19226
3	6	2	2	3	schistes ardoisiers	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	17.735201
3	5	2	2	3	siltites, grès, microconglomérats	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	20.336399
3	6	2	2	3	phtanites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	1.54572
3	6	2	2	3	schistes, grès	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	3.85752

Par rapport à la table globale, on a une localisation des différentes zones lithologiques ou des classes de perméabilité.

5.2.3. Exemple 3 : Socle vosgien

Pour caractériser hydrogéologiquement les bassins versants, les résultats d'une étude réalisée par le CEGUM (Centre de recherches en Géographie de l'Université de Metz) ont été mis à profit. Cette étude fournit **pour chaque portion de cours d'eau** les valeurs du débit mensuel minimal de chaque année civile (QMNA) de fréquence de retour 2 ans, 5 ans et 10 ans (illustration 27). La méthode de calcul utilisée par le CEGUM, nommée « DECLIC » (*Détermination des Écoulements Caractéristiques sur le Linéaire des Cours d'eau*) utilise les données issues de la banque HYDRO (données des stations de mesures hydrologiques de bassin) et celles de la BD Carthage,

Sur la base de cette étude, les bassins versants des cours d'eau vosgiens ont été évalués et classifiés selon leur débit d'étiage de fréquence quinquennale. Plus précisément le débit d'étiage des cours d'eau a été rapporté à la surface des bassins versants afin d'obtenir un débit d'étiage spécifique. Selon le CEGUM, la valeur de ce débit spécifique reflète indirectement la capacité d'infiltration des eaux superficielles par les terrains rencontrés et donc la capacité d'emmagasinement en eau du sous-sol. Ainsi un débit d'étiage spécifique relativement faible peut témoigner de la présence de formations perméables et inversement un débit d'étiage spécifique élevé peut témoigner de la présence de formations imperméables.

D'une manière pragmatique, un classement relatif des bassins versants a été réalisé à partir de la moyenne générale des débits spécifiques obtenue (**4,46 l/s/km²** pour les versants du côté lorrain du massif).

La méthodologie de découpage est la suivante :

- **Découpage des entités de niveau 3 par bassin versant en s'appuyant sur les zones hydrographiques de la BD Carthage.**

On ne considère que la partie du socle appartenant au bassin versant.

L'illustration 28 montre les zones hydrographiques BD-Carthage couvrant la zone de socle vosgien et les entités de niveau 3 qui ont été délimitées.

L'illustration 29 montre un exemple de construction d'une entité de niveau 3 à partir de la carte géologique.

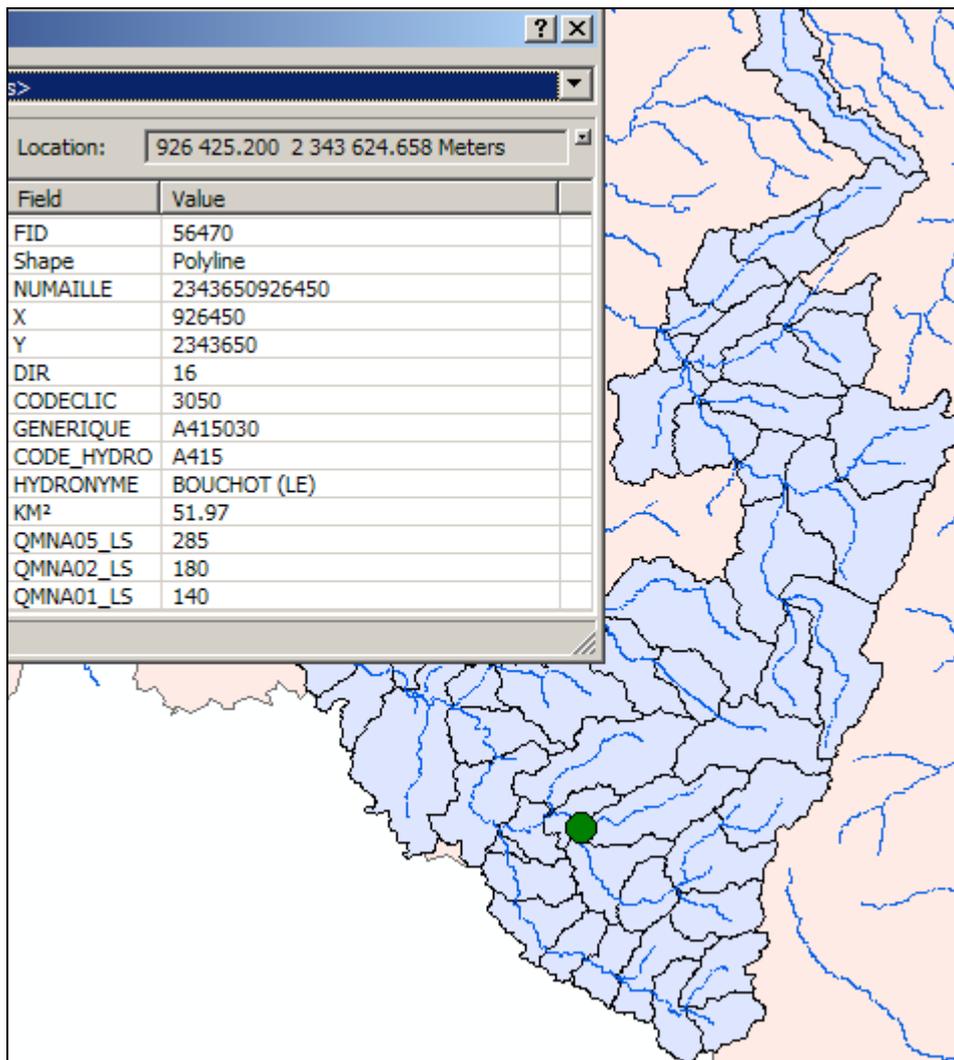


Illustration 27 - Information fournie par la méthode « DECLIC ».

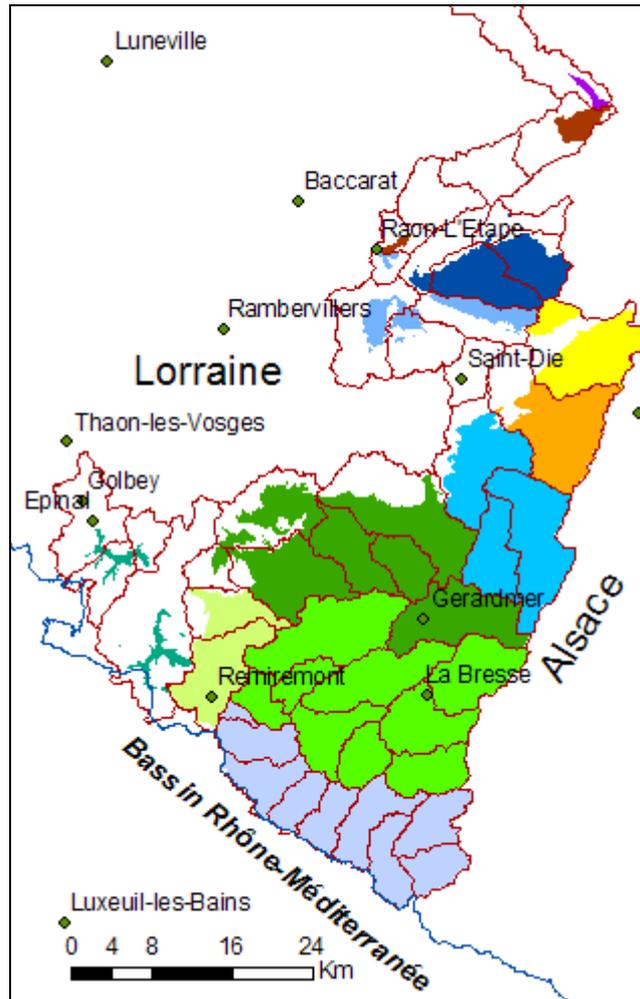


Illustration 28 - Entités de niveau 3 délimitées et zones hydrographiques BD Carthage (une couleur par entité).

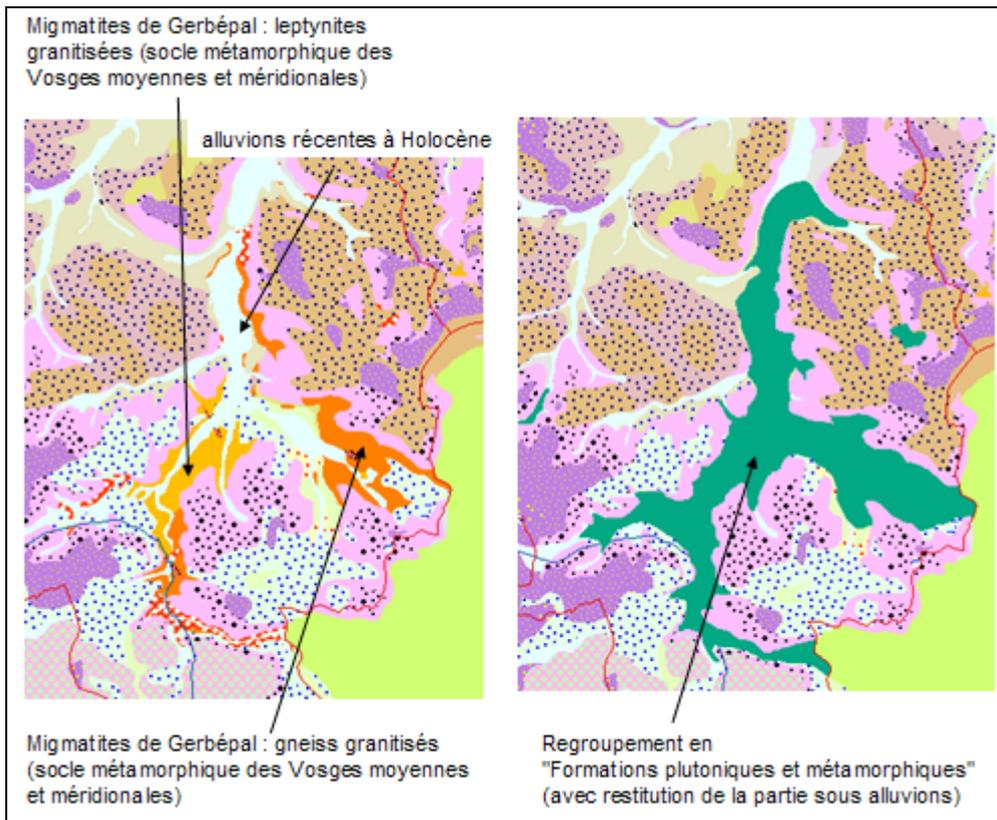


Illustration 29 - Exemple de construction d'une entité socle de niveau 3 (entité située à l'ouest de Remiremont).

- **Caractérisation des entités de niveau 3**

Utilisation des données du CEGUM (DECLIC) qui fournissent par tronçon de cours d'eau la valeur du débit mensuel minimum de période de retour 5 ans QMNA5² (illustration 27). Pour cela est pris en compte, pour chaque entité de niveau 3 précédemment définie, le tronçon le plus en aval de la zone du bassin versant sur socle, qui fournit cette valeur (en l/s) et la superficie du bassin versant concerné (illustration 27).

Calcul du débit spécifique (QMNA5 / Surface de bassin versant) en l/s/km². Est ainsi obtenue une valeur de débit spécifique par bassin versant qui est un ordre de grandeur. En effet cette valeur n'est pas strictement représentative des formations de socle sur tous les bassins versants identifiés : d'une part, elle caractérise la surface totale des bassins (de la source au point aval), et d'autre part la surface de bassin versant considéré ne tient pas compte de la nature de la formation géologique présente (la surface sur socle peut ne représenter qu'une partie de ce bassin).

² QMNA 5 ans : c'est le débit de référence défini au titre 2 de la nomenclature figurant dans les décrets n° 93742 et 93743 du 29 mars 1993, pris en application de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. C'est le débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A) (débit minimal de chaque année civile de fréquence de retour 5 ans). C'est le débit mensuel minimal ayant la probabilité 1/5 de ne pas être dépassé une année donnée.

Calcul de la moyenne des valeurs de débit spécifique obtenues pour tous les bassins versants et comparaison par bassin versant de sa valeur de débit spécifique avec la valeur moyenne. Ceci permet d'établir deux classes d'entités (celles pour lesquelles le débit spécifique est inférieur à la moyenne (classe 1) et celles pour lesquelles il est supérieur à la moyenne (classe 2).

Selon leur appartenance à la classe 1 ou à la classe 2, les unités sont caractérisées comme ayant tendance à être infiltrantes (« nature » = 5), donc à tendance semi-perméables (« nature » = 6), ou au contraire ayant tendance à favoriser le ruissellement, donc à tendance imperméable (« nature » = 7).

5.2.4. Exemple 4 : socle de la Corse

Extrait du rapport. BRGM/RP-59924-FR « Actualisation de la synthèse hydrogéologique de la région Corse » (2011).

Le découpage et la caractérisation des entités du thème socle ont été réalisés à partir d'une étude portant sur la cartographie de la ressource potentielle en eau souterraine dans le socle granitique de la Corse (rapport BRGM/RP-58258-FR). Cette étude, qui a permis de localiser et de hiérarchiser les zones susceptibles de posséder des ressources en eau souterraine mobilisable par forage dans le socle de Corse, intègre et synthétise les résultats de plusieurs approches.

D'une part, une analyse combinée des pentes topographiques et des caractéristiques géologiques et géomorphologiques couplée à trois semaines de reconnaissance de terrain ont permis de localiser les zones les plus favorables à la présence de profils d'altération, zones susceptibles de présenter un potentiel aquifère.

D'autre part, l'analyse des données de suivi du débit de 12 bassins versants drainant des formations granitiques a permis d'estimer, à partir de l'étude des courbes de récession, les volumes dynamiques d'eau souterraine participant au soutien des écoulements des cours d'eau en étiage. En parallèle, des jaugeages ponctuels du débit des cours d'eau ont été réalisés sur les 12 bassins versants principaux afin d'étudier la contribution respective de 44 sous-bassins versants au débit des rivières à l'étiage (calcul des débits spécifiques). Les deux types de données obtenus (volumes dynamiques moyens et débits spécifiques) étaient en cohérence et ont ainsi été croisés afin d'établir une hiérarchisation des bassins versants en fonction de leur **potentialité en eau souterraine** (Illustration 30).

	Potentialité en eau souterraine	Analyse des débits des 12 BV : Volume dynamique moyen VDM (mm) et débit quinquennal sec Q_{MNA5} (l/s/km ²)	Jaugeage des 44 sous BV : Débits spécifiques (l/s/km ²)
	Très bonne	VDM > 60 ; Q_{MNA5} > 2	> 4
	Bonne		2 – 4
	Moyenne	30 < VDM < 60 ; 1 < Q_{MNA5} < 2	1 – 2
	Faible	VDM < 30 ; Q_{MNA5} < 1	0,4 – 1
	Très faible		< 0,4

Illustration 30 - Classes de potentialité en eau souterraine dans les bassins versants de socle en Corse.

Les zones favorables à la présence de profil d'altération ont ensuite été croisées avec la hiérarchisation des bassins versants, sur la base d'une analyse du contexte de chacune d'entre elle afin de leur attribuer une catégorie de potentialité.

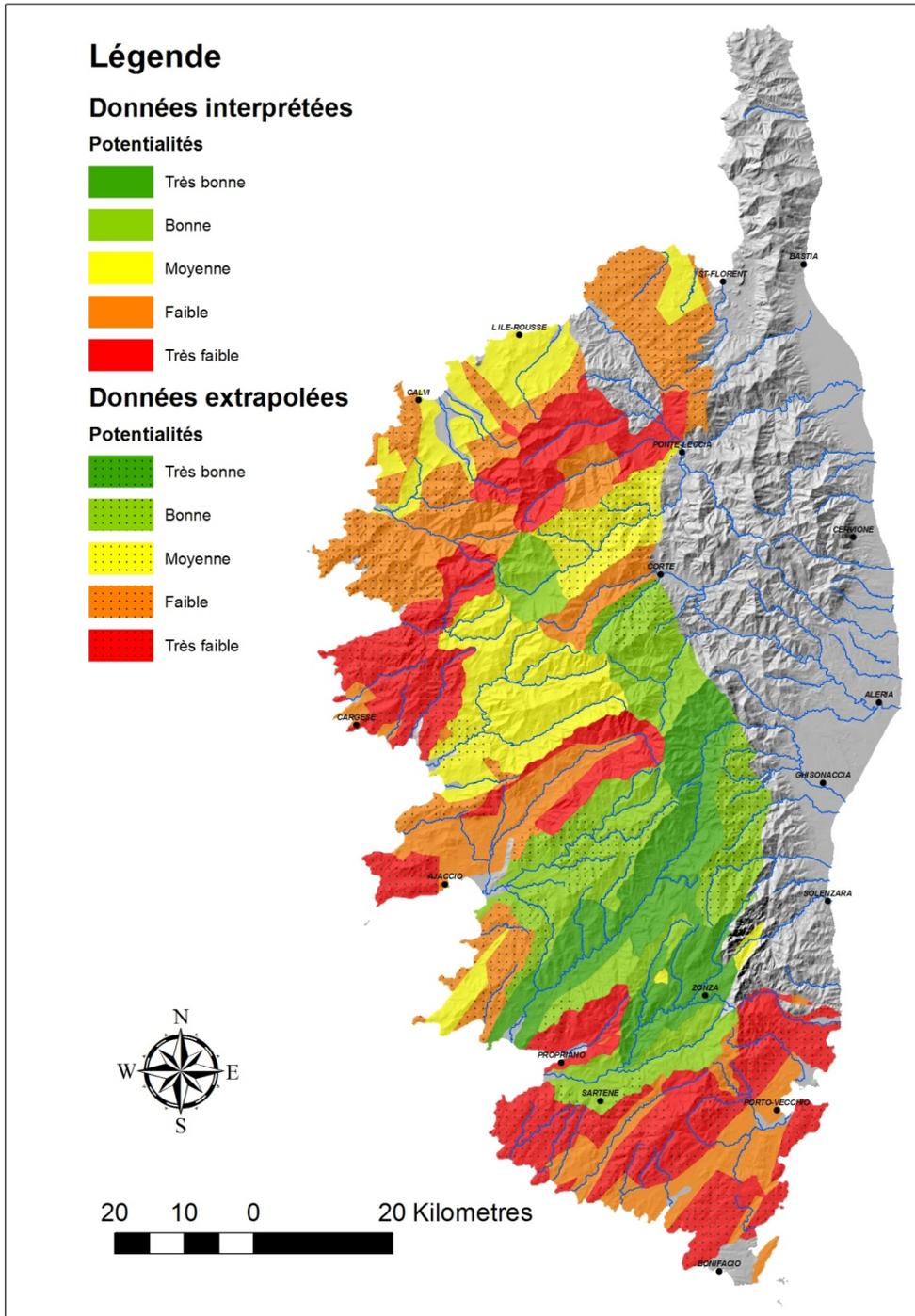


Illustration 31 - Localisation et hiérarchisation des zones susceptibles de posséder des ressources en eau souterraine mobilisable par forage dans le socle de la Corse (rapport BRGM/RP-58258-FR).

Enfin, pour les zones du socle granitique n'ayant pas de données, le potentiel en eau souterraine a dû être estimé sur la base de plusieurs critères :

- similitude géologique avec les bassins versants étudiés voisins ;
- superficie du bassin versant ;
- pluviométrie du bassin versant.

Une cartographie de la ressource potentielle en eau souterraine dans l'ensemble du socle granitique de la Corse a ainsi pu être établie (Illustration 31).

Elle a constitué la base de découpage et de caractérisation des entités hydrogéologiques du socle granitique.

1) Entités de niveau 3

- **Découpage des entités**

Les entités de niveau 3 correspondent aux sous-secteurs de la BD Carthage. 24 entités de niveau 3 ont ainsi été délimitées.

- **Caractérisation des entités par leur nature**

La nature de chacune des entités du niveau 3 est ensuite définie, sur la base des résultats de l'étude sur la potentialité en eau souterraine du socle granitique de la Corse.

La méthodologie BD LISA définit trois natures différentes pour le niveau 3 :

- unité aquifère (« nature » = 5) ;
- unité semi-perméable (« nature » = 6) ;
- unité imperméable (« nature » = 7).

La correspondance suivante a donc été établie entre les différentes classes de potentialités définies dans l'étude sur le socle granitique et la nature aquifère (tableau ci-dessous et illustration 32) :

	Potentialité en eau souterraine	Nature de l'entité
	Très bonne	Unité aquifère
	Bonne	
	Moyenne	Unité semi-perméable
	Faible	Unité imperméable
	Très faible	

L'information hydrogéologique, représentée par les trois natures définies, est injectée dans les bassins versants correspondant aux entités de niveau 3. Cette information est exprimée sous forme de pourcentage de chaque nature (aquifère, semi-perméable, imperméable) représentée dans chacune des entités.

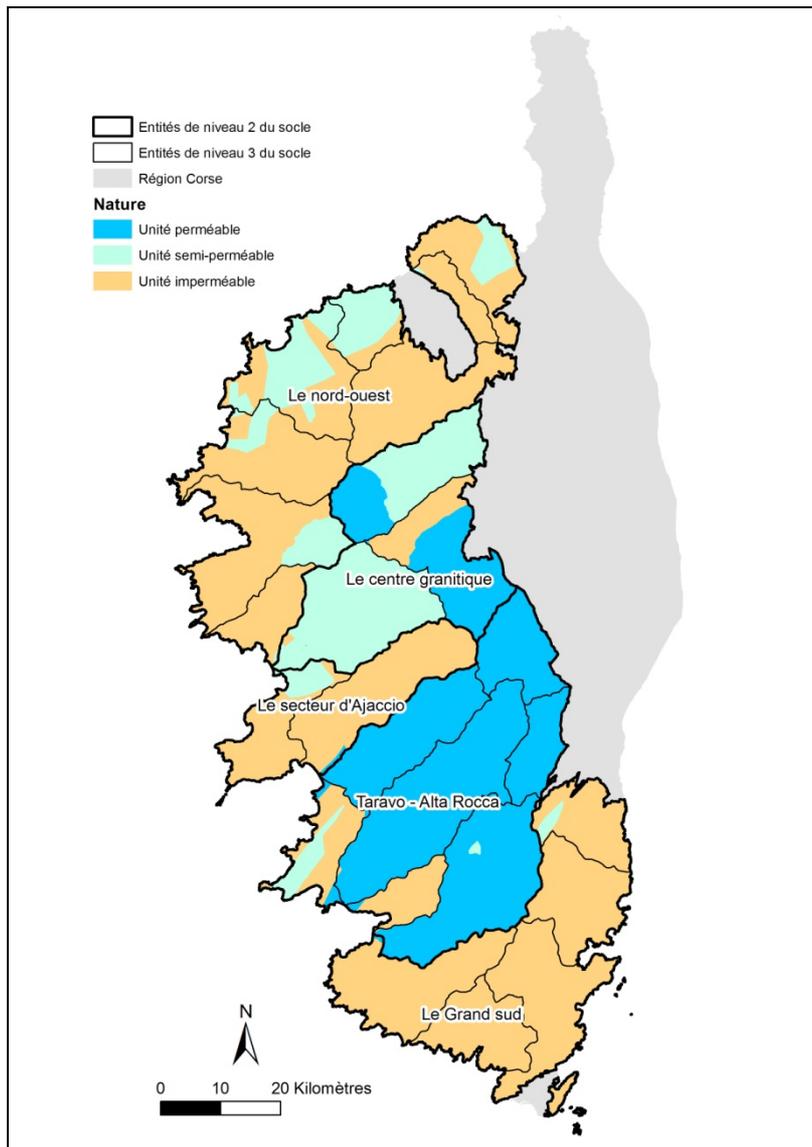


Illustration 32 - Nature des entités de niveau 3 du socle en Corse.

6. 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-permiennes ;
- 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.

6.1. PRINCIPES GENERAUX DE DECOUPAGE

Les aquifères de type volcanique sont découpés aux échelles nationales et locales. 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.

6.1.1. Niveau national

Les entités hydrogéologiques à l'échelle nationale auront une surface comprise entre 100 et 2 500 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 conduira à l'individualisation d'entités hydrogéologiques en grande majorité disjointes les unes des autres (îles : Réunion, Guadeloupe, Martinique, etc., ou massifs volcaniques reposant sur un substratum non volcanique : chaîne des Puys, Cantal, Aubrac, etc.). Le Massif central comprendra 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 sera considéré comme une seule entité (domaine hydrogéologique) et ne fera pas l'objet de subdivisions à l'échelle locale.

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

6.1.2. Niveau régional

Compte tenu de l'extension limitée des formations volcaniques existant en France, ces entités hydrogéologiques de niveau national ne seront en général pas subdivisées pour une visualisation au niveau régional (NV2).

6.1.3. Niveau local

Les règles de découpage 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...).

Selon l'état des connaissances, on pourra descendre jusqu'au découpage des bassins versants souterrains et également selon les modalités ou l'importance de la recharge.

6.2. EXEMPLES DE DECOUPAGE

6.2.1. Volcanisme du Massif central

En domaine volcanique, les écoulements souterrains sont conditionnés par la topographie anté-volcanique. Les bassins versants topographiques étant rarement identiques aux bassins versants hydrogéologiques, il n'est pas possible d'utiliser la BD-Carthage pour procéder au découpage des entités de niveau local. Seule la connaissance de la paléo-topographie peut permettre de déterminer les bassins versants hydrogéologiques. Mais elle n'est connue que pour la Chaîne des Puys où dix bassins versants hydrogéologiques ont été identifiés, mais certaines de leurs limites restent imprécises (et n'ont pas été prises en compte dans le découpage).

La morphologie globale du substratum des formations volcaniques du Devès et de l'Aubrac a été partiellement reconnue mais la différenciation des différents bassins versants hydrogéologiques n'est pas établie.

Les autres entités en particulier celles du Cantal et du Sancy-Mont-Dore ont des structures très complexes. Les écoulements souterrains n'y sont pas clairement identifiés.

Par rapport aux principes énoncés en 6.1, le découpage a donc été simplifié au niveau 3, faute de connaissance suffisante : découpage uniquement par la limite de bassin Loire-Bretagne/Adour-Garonne pour les entités s'étendant de part et d'autre.

Les entités de niveau 2 sont obtenues par regroupement des entités NV3. Sept entités hydrogéologiques de niveau régional (NV2) sont ainsi définies (illustration 33) :

- la Chaîne des Puys du Quaternaire (153AA) ;
- le massif du Sancy – Mont-Dore du Plio-Quaternaire (154AA) ;
- le massif du Cézallier (155AA) ;
- le volcanisme du Devès du Miocène au Pliocène (156AA) ;
- le massif des Monts du Cantal du Miocène (158AA) ;
- le massif du Velay oriental du Miocène (159AA) ;
- le volcanisme de l'Aubrac du Miocène sup. (160AA).

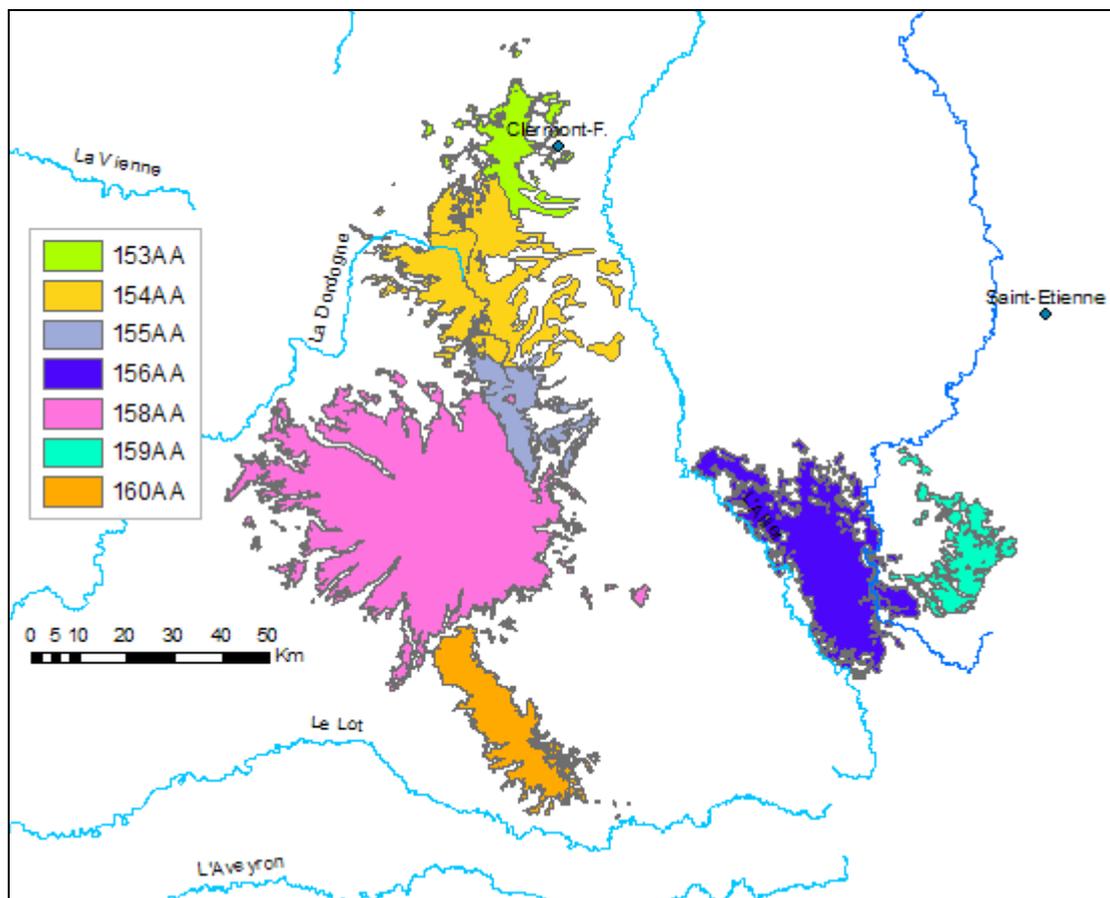


Illustration 33 - Entités du thème volcanisme dans le Massif central.

6.2.2. Volcanisme en Martinique

Extrait du rapport BRGM/RP-57740-FR « Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Martinique » (2011)

Dans le thème volcanique, ont été délimités :

- 8 systèmes aquifères de niveau régional (niveau 2) ;

- 39 unités aquifères ou semi-perméables de niveau local (niveau 3).

Exemple : Système aquifère de la Montagne Pelée

Ce système aquifère volcanique est caractérisé par la présence de nappes libres circulant dans un milieu poreux (porosité d'interstice). Il regroupe l'ensemble des formations géologiques de l'édifice récent et intermédiaire de la Montagne Pelée, mises en place depuis 40 000 ans.

Il a été découpé en quatre unités aquifères volcaniques et une unité semi-perméable sédimentaire. Les unités aquifères sont majoritairement caractérisées par la circulation de nappes libres dans des milieux poreux, sauf la petite unité aquifère des dômes de laves massives. Cette unité a été volontairement réduite à une seule formation géologique (notée « D » sur la carte géologique) car son extension sous recouvrement est mal circonscrite (très peu de données étant disponibles) et que sa place stratigraphique reste indéfinie. Ainsi, la mise à jour du référentiel à l'occasion de nouvelles investigations réalisées sur cette formation sera aisée sans remettre en cause le découpage global. L'unité semi-perméable est quant à elle caractérisée par la présence d'une nappe captive au sein d'un milieu globalement poreux, constitué par les argiles varvées et tourbes du paléolac de Champflore.

Il est à noter que ces unités aquifères NV3 ne sont pas caractérisées par la présence d'une seule nappe, mais par de multiples nappes d'extension latérales limitées, circulant généralement dans l'axe d'anciennes paléo-vallées comblées par les nuées ardentes et/ou coulées de ponces.

Remarque

L'amélioration de la description du type de milieu s'est révélée nécessaire afin de prendre en compte les spécificités des formations volcaniques, car le lexique original ne permettait pas de bien différencier certaines formations.

Ainsi, certains aquifères sont constitués de coulées de laves. Selon le mode de mise en place de celles-ci, elles seront soit massives, soit fissurées. Ensuite, une porosité secondaire pourra se mettre en place, à savoir une fracturation tectonique, et les aquifères seront ainsi soit fissurés, soit fracturés, soit fissurés et fracturés. Il est ainsi nécessaire de rajouter la typologie « milieu fracturé ». Ce type de milieu pourrait également être valable pour des conglomérats ne présentant pas de perméabilité primaire en raison de la nature argileuse de la matrice, mais qui présentent une fracturation tectonique secondaire à l'origine d'une certaine perméabilité.

La notion de « double porosité » (code 4) doit ainsi être étendue, car plusieurs types de double porosité peuvent être observés. Le type « milieu fracturé et fissuré », largement présent en Martinique, compte tenu du regroupement de différentes coulées de laves au sein d'une même entité aquifère, a été introduit (code 6). De plus, plusieurs formations géologiques, souvent regroupées au sein d'entités semi-perméables, présentent à la fois une porosité matricielle d'origine primaire et également une porosité de fracture d'origine secondaire. Il s'agira notamment des nuées ardentes anciennes indurées, des hyaloclastites et de certains conglomérats et de certaines brèches. Pour ce type de double porosité, le code 7 a été introduit.

6.2.3. Volcanisme en Guadeloupe

Extrait du rapport BRGM/RP-56953-FR « Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF-Version 2. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Guadeloupe » (2009).

En Guadeloupe, onze entités volcaniques de niveau 3 ont été délimitées (sur un total de 22 entités NV3) constituant quatre systèmes aquifères volcaniques de niveau 2.

Exemple : Système aquifère volcanique de la Basse-Terre

L'île de Basse-Terre est située au milieu de l'arc volcanique actif des Petites Antilles. Celui-ci se caractérise par la subduction lente (2 cm/an) de la plaque Atlantique sous la plaque Caraïbe et un volcanisme calco-alkalin au droit de la zone de subduction qui a abouti à la formation de l'île.

Les études réalisées sur Basse-Terre se sont plus attachées à désigner localement des cibles pour la recherche d'eau qu'à décrire le fonctionnement hydrogéologique de l'île dans son ensemble. Les informations disponibles sont donc souvent d'intérêt ponctuel et ne permettent pas de définir des systèmes aquifères indépendants. Le seul document global disponible est la carte géologique de la Basse-Terre datant de 1966 et qui est obsolète. Seule la partie Sud a été actualisée par la cartographie du massif de la Soufrière en 1988 (au 1/20 000). Par souci de cohérence, le découpage des entités affleurantes de cette île a été fait à partir de la carte au 1/50 000 de Basse-Terre (1966), et sera actualisé lors de la publication de la nouvelle carte géologique de l'île en cours de réalisation.

Les différentes phases d'activité volcanique qui se sont succédées au cours du temps ont abouti à l'édification de cinq unités volcano-structurales (illustration 34) observables dans la morphologie actuelle de l'île :

- le massif septentrional (Pliocène), situé au nord de l'île, est constitué essentiellement d'andésites sombres et claires du volcanisme tholéitique souvent recouvertes de brèches de nuées ardentes, de cendres et de lapillis ;
- la chaîne axiale (fin du Pliocène), qui occupe la partie centrale, de l'île est constituée de coulées de laves andésitique recouvertes des produits pyroclastiques de ces volcans ;
- les Monts Caraïbes (Pléistocène), sont formés de laves basaltiques, et tranchent avec les autres ensembles par leur relief accusé et leur composition minéralogique (basaltes à phénocristaux d'olivine) ;
- la chaîne de Bouillante (fin du Pléistocène), correspond à des hyaloclastites et des coulées de laves andésitiques massives ;
- le Massif de la Soufrière (Quaternaire à l'Actuel) est constitué de matériaux volcaniques variés (coulées de laves, produits pyroclastiques, dômes de lave, avalanches de débris).

La partie nord-orientale de la Basse-Terre est une vaste plaine, légèrement vallonnée qui descend en pente douce vers la mer et est constituée par des formations volcano-sédimentaires (tuffites, conglomérats) profondément altérées, argilisées.

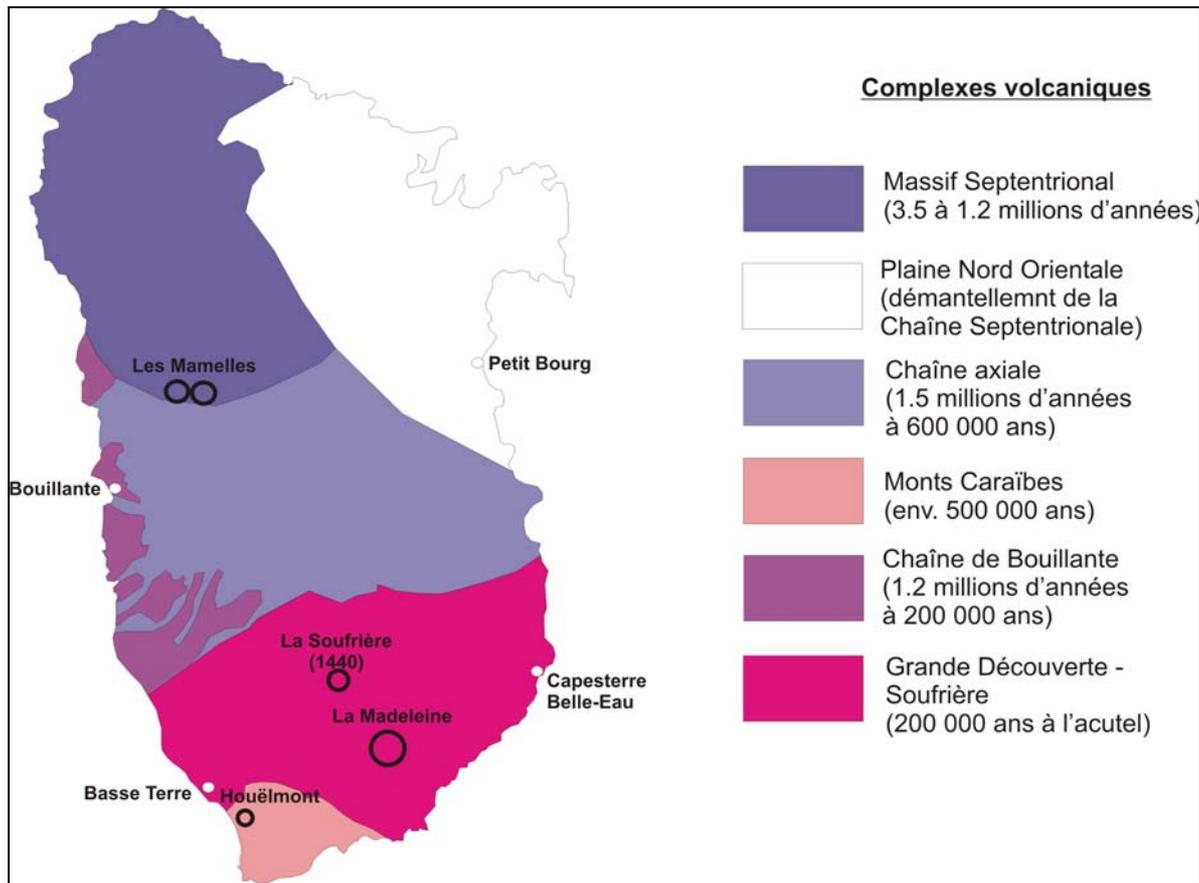


Illustration 34 - Unités morpho-structurales de Basse-Terre en Guadeloupe.

L'organisation des unités géologiques constitutives de l'île, mises en place à la faveur d'épisodes volcaniques successifs, est complexe et leur confère une large gamme de caractéristiques hydrogéologiques décrites ci-après :

- **les laves massives andésitiques**, intrinsèquement peu perméables, peuvent constituer des réservoirs de type volcanique fissuré et fracturé. Cette perméabilité en grand provient d'une fissuration primaire due au refroidissement de la lave (débit en plaquettes au mur de la coulée et prismation ou débits en torsades à l'avancement de la coulée), et une fracturation secondaire liée à la tectonique active. Cependant ces formations peuvent subir localement une imperméabilisation suite à une altération climatique (argilisation des fissures) et/ou hydrothermale (fluides minéralisés à température élevée qui colmatent les fissures par des argiles et des hydroxydes de fer) ;
- **les coulées de débris** sont caractérisées par une perméabilité d'interstices et de fissures, et sont susceptibles de former des réservoirs de type volcanique poreux et fissuré ;
- **les dépôts de nuées ardentes** et **les dépôts pliniens** présentent après leur mise en place une importante perméabilité d'interstices, qui peut cependant diminuer fortement du fait de leur argilisation par le biais de l'altération climatique ;
- **les coulées de ponces** et les **lahars** sont relativement peu perméables et constituent généralement les limites imperméables.

Les **formations carbonatées** du nord-est de la Basse-Terre sont le prolongement des calcaires récifaux de Grande-terre sous les formations volcano-sédimentaires altérées de la plaine Nord Orientale. Ces formations peuvent constituer un réservoir de type carbonaté poreux et fissuré (supposés karstifiés). Les caractéristiques hydrogéologiques de ces formations n'ont pas été définies à l'heure actuelle.

Ces différentes formations s'étagent sur une large échelle stratigraphique : du Plio-pléistocène, pour les formations carbonatées, au Quaternaire pour les formations volcaniques les plus récentes. L'âge des formations conditionnant leur degré d'altération, et donc leur imperméabilisation partielle, il a été choisi de découper les entités hydrogéologiques de Basse-Terre en fonction de l'âge des dépôts successifs. De plus, ces formations sont constituées d'alternances de produits fluides (laves massives) et de produits pyroclastiques formant des réservoirs mixtes à perméabilité d'interstices et de fissures. Le substratum des formations volcaniques de la Basse-Terre n'a jamais été identifié lors de sondages.

Ainsi, cinq unités aquifères ont été définies pour Basse-Terre dans le référentiel hydrogéologique :

- l'unité aquifère du volcanisme Quaternaire ;
- l'unité aquifère du volcanisme Pliocène ;
- l'unité aquifère du volcanisme Miocène ;
- l'unité aquifère carbonatée de la Plaine Nord Orientale ;
- l'unité aquifère du complexe volcanique antémiocène.

Ces 5 entités sont regroupées dans une entité NV2 « Système aquifère volcanique de Basse-Terre ».

6.2.4. Volcanisme à la Réunion

Extrait du rapport BRGM/RP-58199-FR « *Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de la Réunion* » (2011).

Méthodologie

La démarche de découpage repose à la fois sur la délimitation des unités de niveau 3 et sur un processus itératif entre les niveaux 2 et les niveaux 3. Le découpage spatial doit rester homogène, notamment en termes d'échelles d'entité. Certains secteurs hydrogéologiquement « isolés » n'ont pas été distingués en raison d'une superficie inférieure à 5 km².

Les règles générales de délimitation utilisées sont présentées ci-après :

- le trait de côte constitue la limite des aquifères côté mer ;
- **comportement piézométrique** sur le domaine littoral : la synthèse des données géologiques et hydrogéologiques de 25 piézomètres suivis en continu a permis de caractériser la variabilité du fonctionnement hydrogéologique en lien avec la géologie et les propriétés de l'aquifère (inertie, réserve, vitesse de transfert). L'analyse globale des paramètres issus des résultats du traitement du signal (effet

mémoire, temps de régulation, vitesse de transfert, etc.) s'est révélée positive pour expliquer en partie cette variabilité. Ceci a conduit à différencier ou non le comportement de certains piézomètres. Sur cette base, la séparation ou le regroupement des entités hydrogéologiques ont été préconisés pour le niveau local NV3 ;

- sur le plan de la connaissance, le domaine littoral est relativement connu par de nombreux forages qui sont surtout présents jusqu'à l'altitude de 200 m NGR (92 % des forages). Dans le découpage des entités, la limite 200 m NGR, a été considérée comme une limite de connaissance séparant le domaine littoral du domaine de transition sur la quasi-totalité de La Réunion. Cette limite présentant un certain arbitraire, la courbe des 200 m NGR a été lissée et les remontées dans les vallées ont été tronquées ;
- délimitation des cirques sur le plan hydrogéologique : dans les trois cirques, de nombreuses sources émergent à la base des remparts. Elles sont alimentées par les planèzes de l'extérieur des cirques et doivent donc y être rattachées. La distinction avec les sources superficielles ayant leur bassin d'alimentation à l'intérieur des cirques n'est pas toujours aisée. La limite des entités hydrogéologiques des cirques résultent alors d'un compromis entre :
 - la rupture de la pente au niveau rempart / base du cirque,
 - les contours géologiques entre les coulées basaltiques et les dépôts de glissement ou de coulées de débris du cirque,
 - les sources : position relative entre elles et par rapport aux contours géologiques,
 - les sources thermo-minérales sont rattachées aux cirques.

Les ravines importantes comme celle de la Rivière de l'Est sont considérées comme des limites. En effet, elles constituent des entailles très profondes dont la base est déconnectée de la nappe. Lorsque l'entaille, suffisamment profonde, recoupe un aquifère sommital, des sources apparaissent au sein des remparts (sources de la Rivière de l'Est par exemple).

Découpage

À La Réunion on admet une continuité hydraulique entre formations volcaniques. Néanmoins il est possible de distinguer trois secteurs : sommital, de transition et littoral. Le découpage a été fait uniquement dans un plan horizontal, sans recouvrement d'entités (sauf celles de la surcouche). Au total, il a été identifié :

- 33 entités de niveau local ;
- 15 systèmes régionaux (illustration 35).

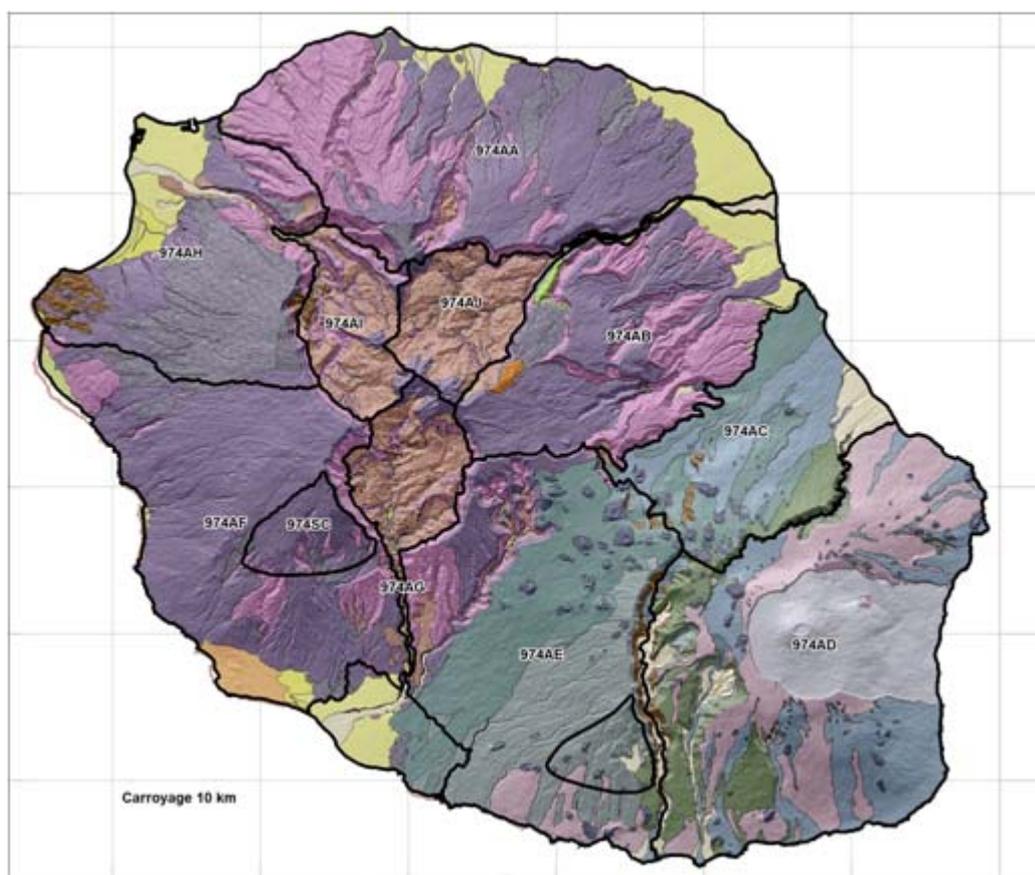


Illustration 35 - Cartographie des entités volcaniques de niveau 2 à la Réunion.

7. Formations du thème « Intensément plissé »

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, renforcée 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.

7.1. PRINCIPES GENERAUX DE DECOUPAGE

7.1.1. 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 au découpage des entités.

Remarque : dans le référentiel BDRHF-V1, le découpage des entités ne faisait appel qu'aux cours d'eau des principales vallées. La méthodologie de BDLISA introduit le critère litho-stratigraphique.

7.1.2. 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 fera 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), analogue au niveau NV1 ;
- contacts structuraux (failles, chevauchement, contact tectonique majeurs, etc.) ;
- limites lithologiques et stratigraphiques ;
- éléments géomorphologiques.

7.1.3. Niveau local (NV3)

Les aquifères alluviaux de montagne (généralement en fond de vallée) et les aquifères locaux présents dans des formations glaciaires et fluvio-glaciaires, 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 sera 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 recherchera l'homogénéité à travers les cartes au 1/250 000.

La carte au millionième, étant stratigraphique, entraîne des distorsions pour l'analyse fine des limites, mais permet d'identifier l'enveloppe des grandes unités et le schéma structural des zones intensément plissées.

7.2. METHODOLOGIE DE DECOUPAGE APPLIQUEE A LA ZONE PYRENEENNE

Ce qui suit est extrait du rapport BRGM/RP-58198-FR qui rend compte du travail réalisé sur la chaîne pyrénéenne.

7.2.1. Prise en compte du contexte géologique pyrénéen dans la méthodologie de découpage

Le contexte géologique et structural détermine le schéma hydrogéologique du massif pyrénéen. En effet, en fonction de la lithologie et des conditions géomorphologiques, les ressources en eau souterraine sont diverses et très irrégulièrement réparties.

Les Pyrénées sont traditionnellement subdivisées en trois grandes unités structurales séparées par deux accidents importants, la faille nord-pyrénéenne et le chevauchement frontal nord-pyrénéen (illustration 36).

La zone primaire axiale

Cette zone occupe une position orographique centrale et porte les plus hauts sommets. Elle est essentiellement composée de roches sédimentaires, éruptives ou métamorphiques anciennes (Précambrien et Paléozoïque), intensément tectonisées

car affectées par les orogènes calédonienne (-435 millions d'années) et hercynienne (-296 millions d'années).

Ces structures plissées et faillées sont sub-verticales ou à déversements plus ou moins prononcés vers le sud.

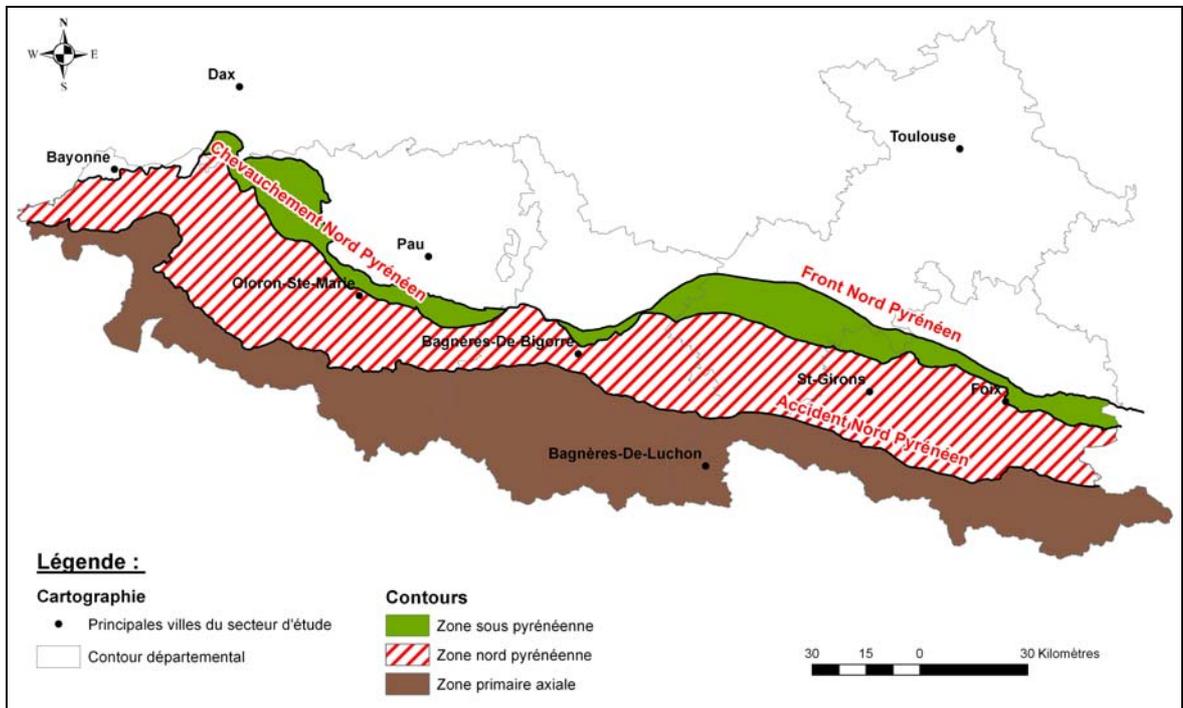


Illustration 36 - Schéma structural de la chaîne pyrénéenne.

La zone nord-pyrénéenne

Cette zone est constituée de séries essentiellement d'âge secondaire fortement plissées et faillées, recouvrant en discordance les terrains de « socle ». Ces derniers sont également présents à l'affleurement sous la forme de structures individualisées en horsts dans les massifs dits « nord-pyrénéens » (Barousse, Milhas, Castillon, Arize, Trois-Seigneurs, Saint-Barthélémy...).

Au contact de la faille nord-pyrénéenne, correspondant en fait à une série de failles profondes, verticales et parallèles à la chaîne montagneuse, les formations du Secondaire ont subi un métamorphisme de haute température et basse pression, individualisant une nouvelle zone dite « Zone Interne Métamorphique ».

La zone sous-pyrénéenne

Elle est essentiellement composée à l'affleurement de terrains d'âge Crétacé supérieur et du Paléogène masqués en général par les épais dépôts molassiques. Dans le secteur des Petites Pyrénées et du Plantaurel, ces séries sont agencées en structures anticlinales et synclinales.

Cet agencement a induit la mise en œuvre du découpage cartographique des entités hydrogéologiques en fonction des étapes décrites dans le paragraphe suivant.

7.2.2. Démarche générale

Pour rappel, contrairement au thème sédimentaire, la méthodologie de l'intensément plissé stipule de traiter uniquement les formations affleurantes. Ce chapitre présente donc la méthodologie utilisée pour définir les entités hydrogéologiques de niveau 1, 2 et 3 pour les formations affleurantes du massif pyrénéen. Pour ce faire, les différentes étapes de découpage cartographique des entités hydrogéologiques sont les suivantes :

Tracé de la limite du Front Régional Nord-Pyrénéen (FRNP)

Le tracé de la limite du front nord pyrénéen (illustration 37) a été réalisé à partir des éléments structuraux ou litho-stratigraphiques présents dans les cartes géologiques à 1/50 000. Le Front Nord Pyrénéen correspond au pli anticlinal du versant septentrional des Pyrénées, associé aux déplacements le long du chevauchement frontal nord pyrénéen et localisé au nord de ce dernier. Le FRNP est observable dans la partie ariégeoise car les couches formant le cœur de l'anticlinal arrivent à l'affleurement.

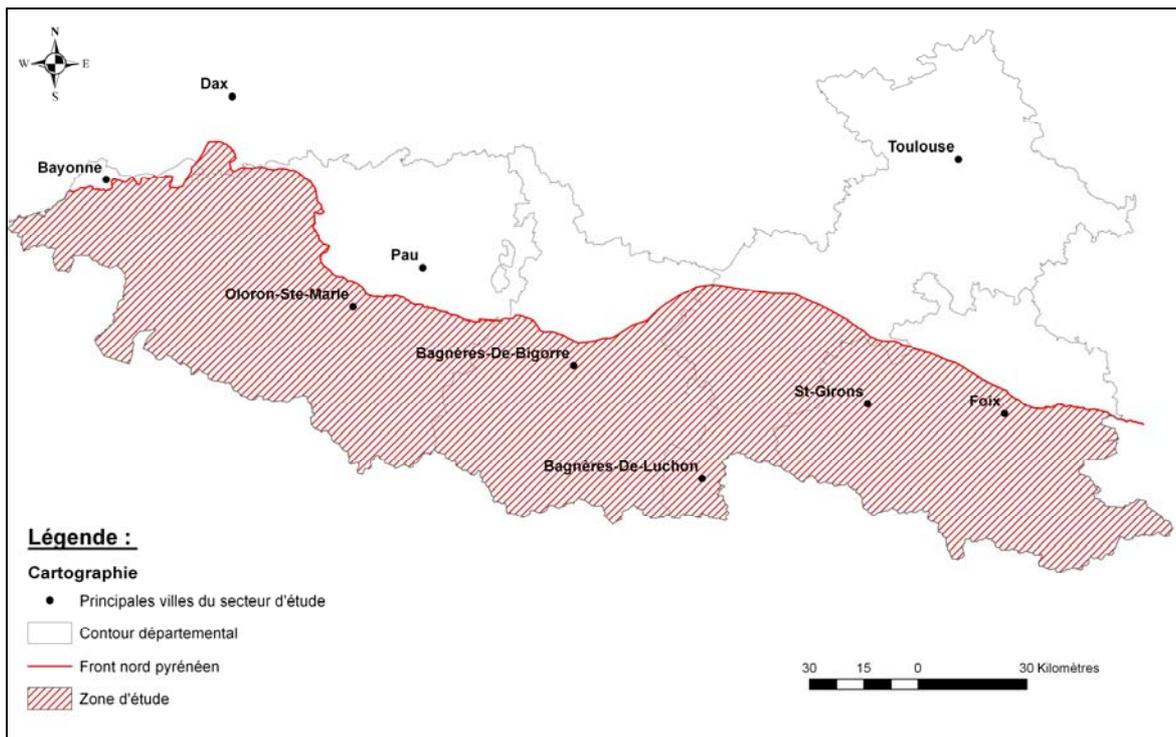


Illustration 37 - Tracé schématisé du Front nord-pyrénéen.

En revanche, il est masqué par les dépôts molassiques du cône de Lannemezan dans la partie occidentale (Hautes-Pyrénées et partie ouest de la Haute-Garonne). La limite a été positionnée sur le flanc nord de l'anticlinal et représentée sur la carte de Le Fousseret (1033) au sein des premiers dépôts molassiques d'âge Paléocène-Éocène, en plaçant en général les Poudingues de Palassou au nord. Dans la partie occidentale, la limite du FRNP a été tracée en accord avec les données de sismique réflexion

acquises dans le Bassin aquitain et les courbes isobathes de la base des dépôts du Dano-Montien.

Les recommandations du guide méthodologique de 2003 proposaient de considérer le FRNP comme limite pour distinguer les entités du thème sédimentaire de celles de l'intensément plissé. Cette option a été maintenue en raison du niveau actuel des connaissances sur les relations géométriques des aquifères situés de part et d'autre du front. Les incertitudes dans ce domaine sont en effet importantes et ne permettent pas de conclure sur la présence avérée de continuités hydrauliques entre les deux zones.

Ainsi, des affleurements d'entités déjà identifiées dans le thème sédimentaire (type argiles à galets du Pliocène, formations molassiques tertiaires, calcaires du Paléocène, etc.) ont été individualisés dans l'intensément plissé sans qu'il soit possible de confirmer le rôle de barrière hydraulique du front. Pour ces entités du thème sédimentaire situées dans le domaine de l'intensément plissé, un découpage selon les limites du FRNP a été réalisé tout en conservant le code identifiant issu du thème sédimentaire.

Identification des principaux ensembles litho-stratigraphiques du massif pyrénéen et caractérisation de leur potentiel aquifère

La délimitation des entités hydrogéologiques repose sur l'utilisation des cartes géologiques vectorisées harmonisées à l'échelle départementale lorsqu'elles existent. L'harmonisation du département de Haute-Garonne (31) n'étant pas encore réalisée, les formations géologiques ne sont pas toujours « jointives » d'une carte à une autre et peuvent être identifiées par des appellations différentes.

Cette phase consiste à établir une correspondance stricte entre les entités hydrogéologiques à délimiter et les formations géologiques des cartes à 1/50 000. La qualification du potentiel aquifère des terrains a été réalisée à partir des éléments présents dans la bibliographie (rapports d'étude, avis d'hydrogéologue agréé, thèses...), des données de forages et plus majoritairement des sources recensées et à dire d'experts (hydrogéologues spécialistes des Pyrénées).

À partir des données recueillies et de la description des formations des cartes géologiques à 1/50 000, un log hydro-stratigraphique synthétique a été construit. Le tableau multi-échelle en a été directement déduit.

Définition des contours des entités

Les contours vectorisés et/ou harmonisés des cartes géologiques à 1/50 000 existants ont été utilisés pour extraire les polygones correspondant aux parties affleurantes de chaque entité identifiée dans le tableau multi-échelles. Ces polygones sont ensuite regroupés dans une couche SIG propre à chaque entité et fusionnés (une entité = une table). En Midi-Pyrénées, le travail de découpage a été entrepris avec le logiciel MapInfo[®], en Aquitaine avec le logiciel ArcGis[®], l'assemblage de toutes les entités étant quant à lui réalisé par le modèle de gestion du référentiel développé à partir du logiciel ArcGis[®].

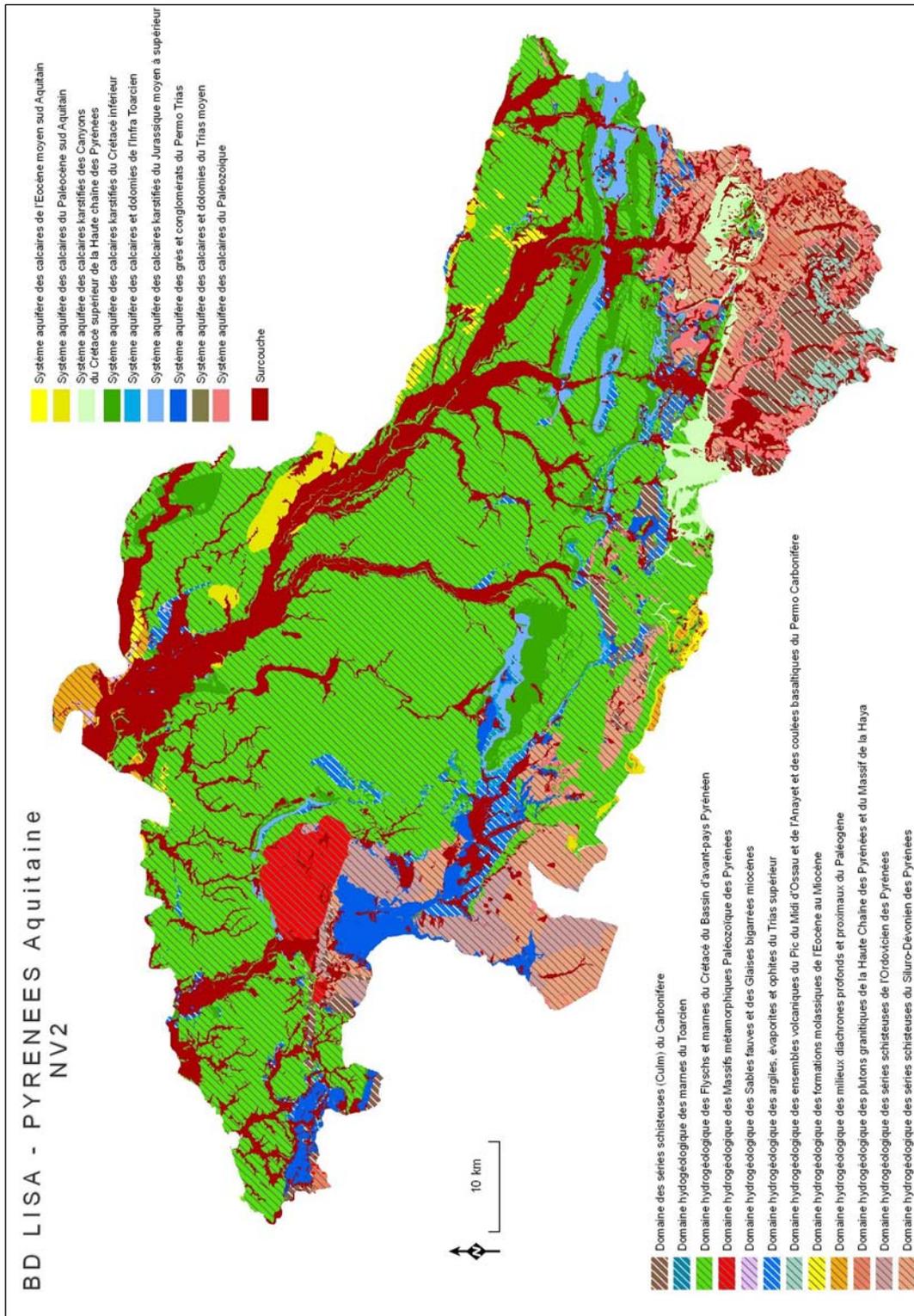


Illustration 38- Entités NV2 : couche vectorielle homogénéisée avant traitements des formations superficielles « masquantes ».

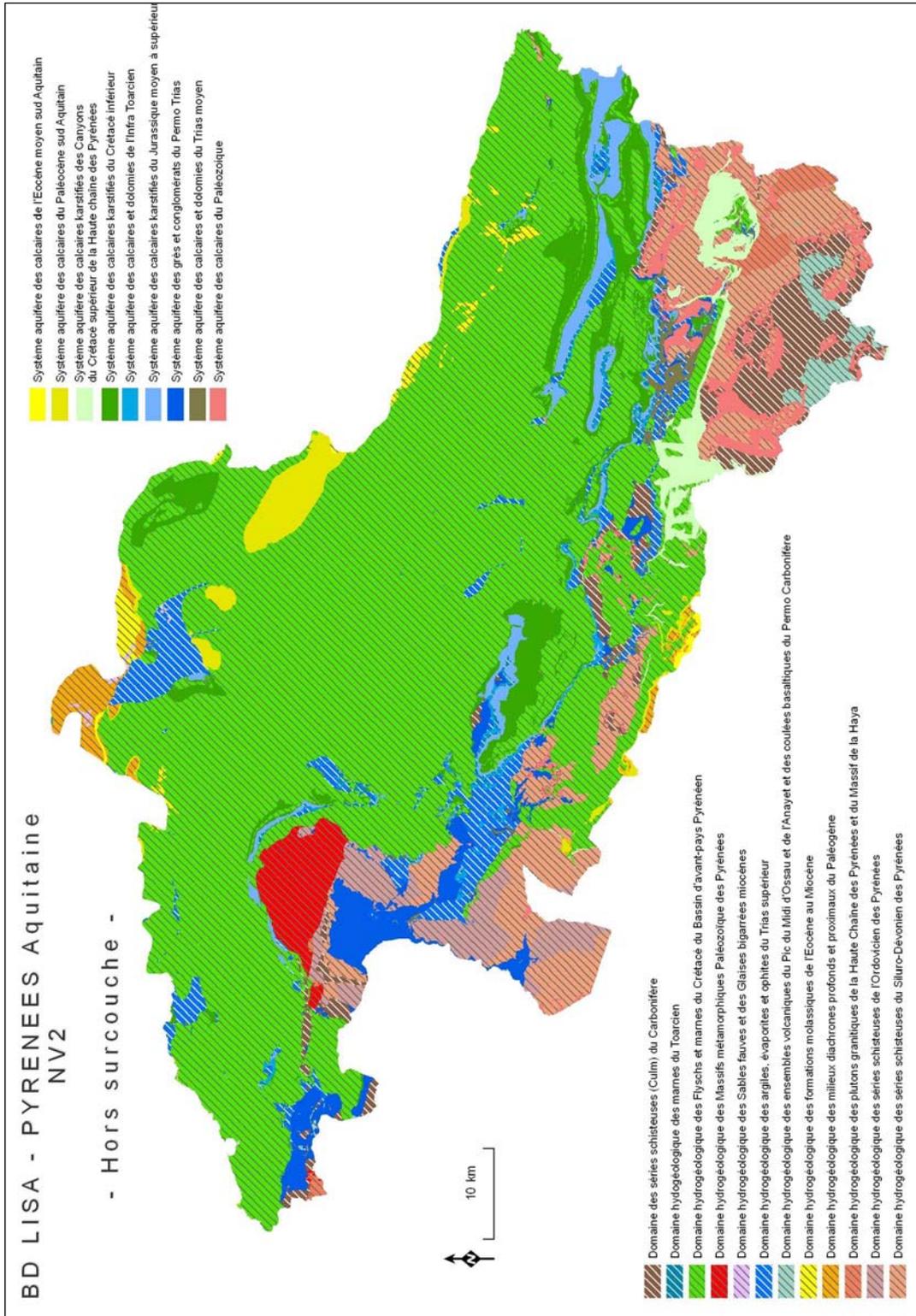


Illustration 39 - Entités NV2 : couche vectorielle homogénéisée après traitements des formations superficielles « masquantes ».

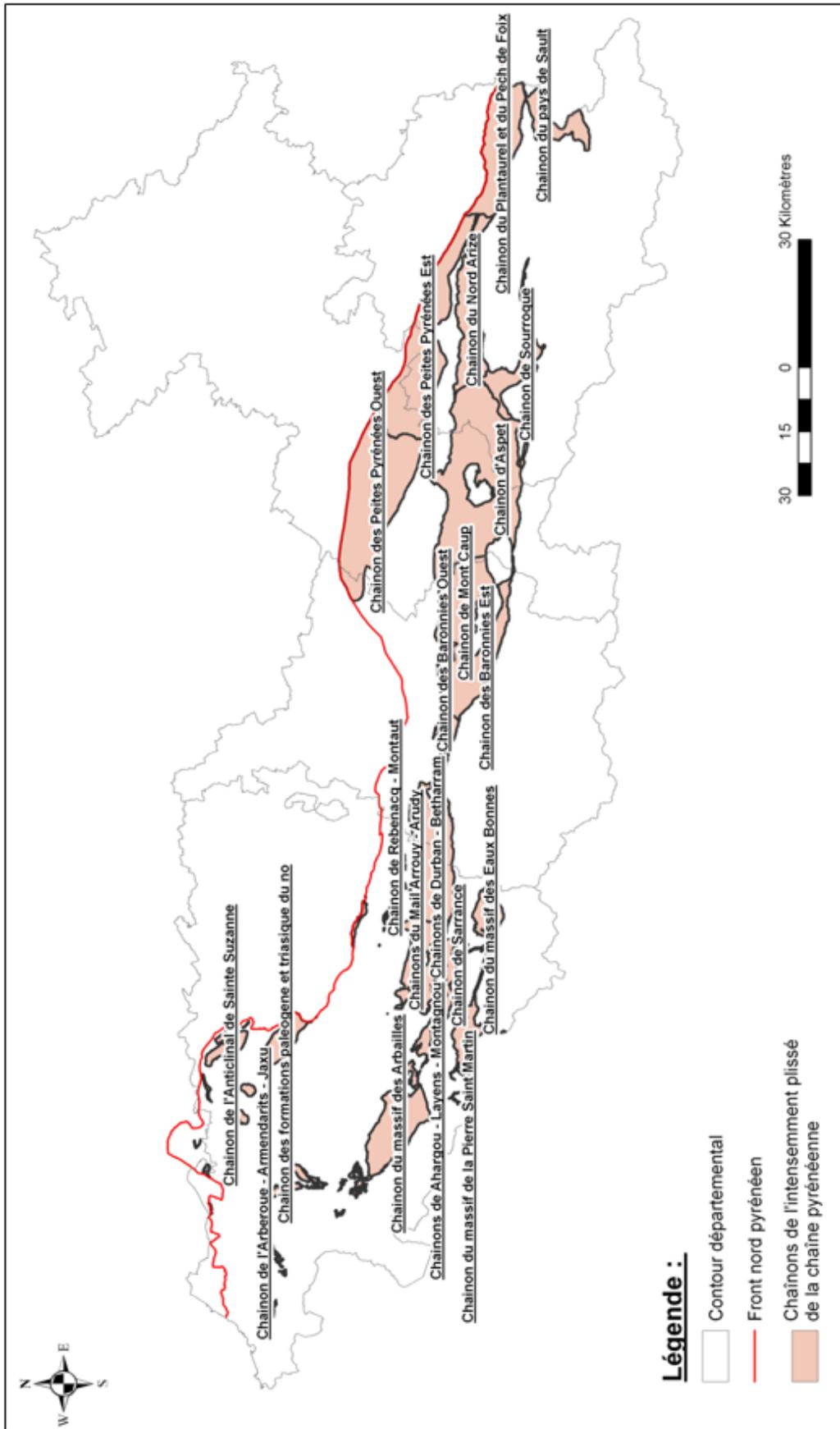


Illustration 40 - Entités de niveau 1 : chainons de l'intensément plissé de la chaîne pyrénéenne.

La cartographie de ces parties affleurantes a nécessité une révision de leurs contours géologiques, à savoir principalement leur prolongement sous les alluvions récentes et sous les formations superficielles non significatives (éboulis, colluvions, éluvions...). À titre d'exemple sur la partie aquitaine, les illustrations 38 et 39 montrent le travail important qu'il a fallu réaliser pour vérifier, réviser et compléter les contours des entités.

Au total, l'intensément plissé a été divisé en trois entités de niveau national différenciées en :

- bassins pour des formations majoritairement non aquifères ;
- chaînons pour des formations majoritairement aquifères carbonatées (illustration 40) ;
- massifs pour des formations majoritairement aquifères et de type socle ou primaire.

7.3. METHODOLOGIE DE DECOUPAGE DANS LE BASSIN RHONE-MEDITERRANEE ET CORSE

7.3.1. Entités délimitées

Dans le thème « Intensément plissé », 58 entités NV2 ont été définies dans le bassin Rhône-Méditerranée (illustration 41) et 3 en Corse. Les entités NV3 n'ont été délimitées que dans le Languedoc-Roussillon (30) et en Corse (12).

7.3.2. Exemples

En Languedoc-Roussillon

Extrait du rapport BRGM/RP-60305-FR « Synthèse hydrogéologique du Languedoc-Roussillon. Bassin Rhône-Méditerranée » (2011).

L'hydrogéologie des formations de l'intensément plissé du Languedoc-Roussillon est relativement peu connue, même si de nombreuses données ponctuelles existent. Les capacités aquifères des différents ensembles litho-stratigraphiques ont été globalement peu étudiées.

La délimitation des entités de ce thème a donc été réalisée d'une part, sur la base des bassins versants de la BD Carthage, et d'autre part à partir d'une estimation à « dire d'expert » de la nature aquifère des différentes formations.

Ainsi, les différentes formations ont été recensées et leur nature aquifère a été estimée à partir des informations fournies par la carte géologique au 1/50 000 et les données de la Banque de Données du Sous-Sol. Une fois ce travail réalisé, la cohérence de la carte de la nature des formations obtenue avec les connaissances régionales a été vérifiée.

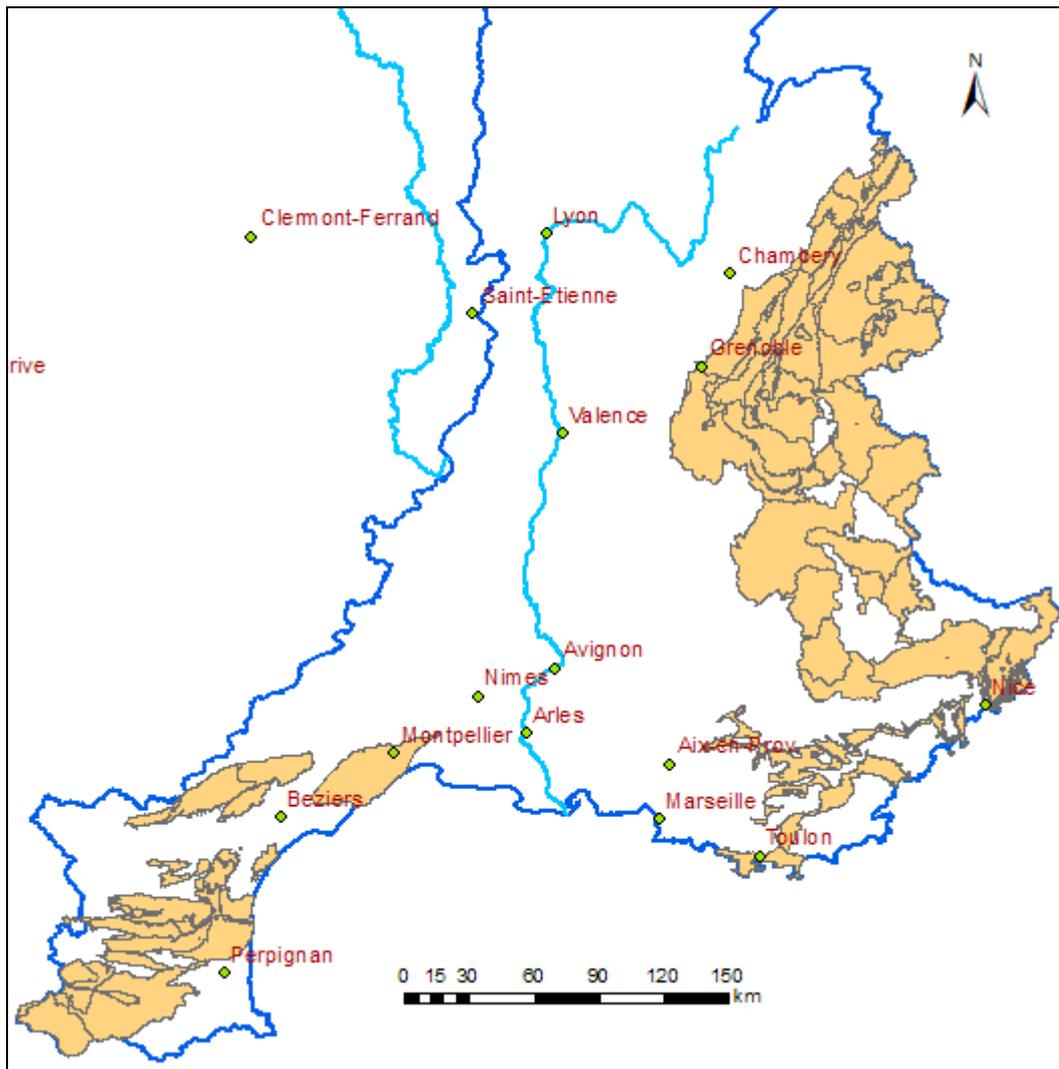


Illustration 41 - Cartographie des entités NV2 du thème « Intensément plissé » dans le bassin Rhône-Méditerranée.

• **Entités de niveau 2**

Les entités de niveau 2 ont été découpées selon les contours des sous-secteurs hydrographiques de la BD Carthage. Lors du découpage de la couche des sous-secteurs par la limite des formations du thème intensément plissé avec les autres thèmes, des parties réduites de sous-secteurs ont été isolées. Ces sous-secteurs tronqués et de petites tailles ont donc été raccrochés aux sous-secteurs entiers les plus proches.

Chacun des niveaux 2 correspond au regroupement de plusieurs sous-secteurs sur la base de plusieurs critères et informations :

- d'une part à partir des résultats de la cartographie de l'estimation de la nature aquifère des formations afin d'obtenir des entités dont les caractéristiques sont globalement homogènes ;
- d'autre part en ne regroupant que les sous-secteurs contigus.

- **Entités de niveau 3**

Les entités de niveau 3 correspondent aux sous-secteurs de la BD Carthage.

En Rhône-Alpes

Formations cristallines du bassin versant de l'Arc – Alpes internes (525AG, code RMC = E12A) et *Formations sédimentaires du bassin versant de l'Arc – Alpes internes* (525AH, code RMC = E12B).

Ces deux entités NV2, classées en « domaine hydroéologique » se situent sur le département de la Savoie, au niveau de haute vallée de la Maurienne. Elles correspondent au haut bassin versant de l'Arc et s'étendent de Bonneval-sur-Arc à Saint-Jean-de-Maurienne.

Elles sont limitées au sud et l'est par l'Italie, à l'ouest par le massif de Belledonne et au nord par le massif de la Vanoise.

Les limites entre ces deux entités sont considérées comme « étanches » mais également avec à l'ouest les *Formations sédimentaires du bassin versant de l'Arc – Alpes externes* (525AF, code RMC = E11B) et les alluvions de l'Arc. Les entités, situées sur le bassin versant de l'Arc, sont séparées par une ligne de partage des eaux (BD Carthage) avec au nord les formations cristallines (525AB, code RMC = E10A) et sédimentaires (525AC, code RMC = E10B) du haut bassin versant de l'Isère – Alpes internes. Enfin, à l'ouest et au sud, se situent la frontière italienne et la limite du bassin Rhône-Méditerranée.

8. Formations du « thème alluvial »

8.1. CAS DU « PROJET NATIONAL »

Au stade actuel de développement du référentiel, les formations alluviales des cinq bassins du « projet national » sont extraites des cartes géologiques et **rangées dans la surcouche du référentiel (en tant qu'entités complémentaires)**. Elles restent inchangées du niveau 3 au niveau 1.

En région Centre, une délimitation des réservoirs alluviaux productifs a pu être néanmoins réalisée. Dans certains cas, des secteurs alluviaux bien délimités, jouant un rôle important dans l'alimentation en eau, sont considérés comme des entités principales (en particulier la plaine alluviale d'Alsace).

Compte tenu de la non-harmonisation fréquente des cartes géologiques départementales entre elles sur ce thème alluvial, il n'y a pas eu sur l'ensemble des cinq bassins de différenciation entre les différents types d'alluvions (Fx, Fy, Fz, Fu...), comme cela avait pu être fait dans certaines régions (comme en région Centre, où il existait une carte régionale harmonisée). Deux types de formations alluviales seulement ont été créés : alluvions récentes et alluvions anciennes.

Cas particulier des alluvions sous les formations du Flandrien en Aquitaine

À l'Holocène, en Aquitaine, une transgression marine d'âge flandrien est à l'origine de dépôts de granulométrie très fine recouvrant des formations alluvionnaires récentes (illustration 42). Ces dépôts peu perméables sont considérés comme entités principales ou comme entités complémentaires suivant leur relation avec les alluvions récentes (Würm et Holocène).

Les deux cas suivants ont été considérés.

- **Flandrien comme entité principale** : la formation flandrienne littorale (formation semi-perméable) est très épaisse et située sous les formations dunaires littorales (formations aquifères). Cette zone du flandrien a été associée à la formation des Sables et Argile du Gulp (code 308A02, illustration 43) l'ensemble constituant une éponte séparant les formations dunaires des formations sous-jacentes.
- **Flandrien comme entité complémentaire** : en allant vers l'Est, les formations flandriennes ne sont plus recouvertes par les dunes et leur épaisseur tend à diminuer. Formations flandriennes et alluvions récentes sous Flandrien ont été regroupées pour former une entité complémentaire nommée « *Alluvions flandriennes sur terrasses alluviales quaternaires* » (illustration 43).

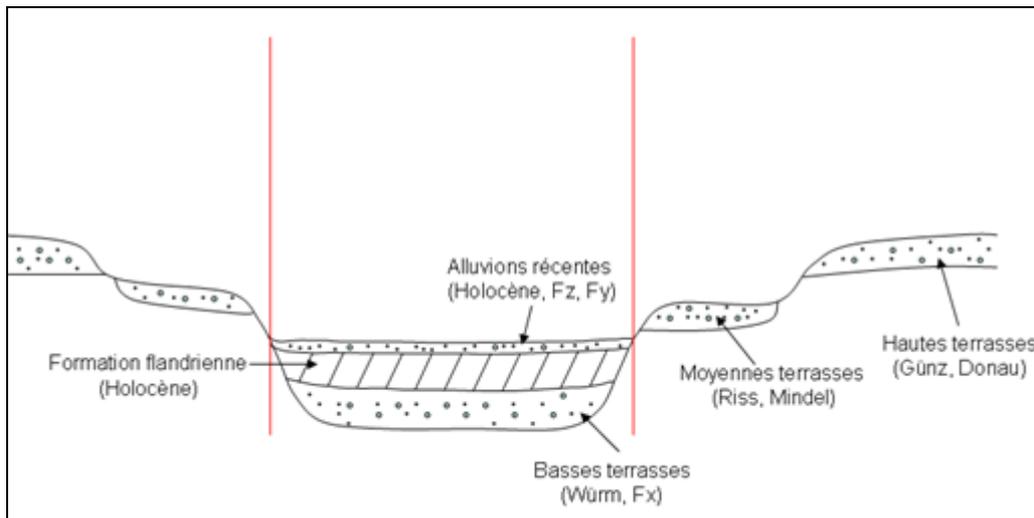


Illustration 42 - Alluvions sous Flandrien en Aquitaine.

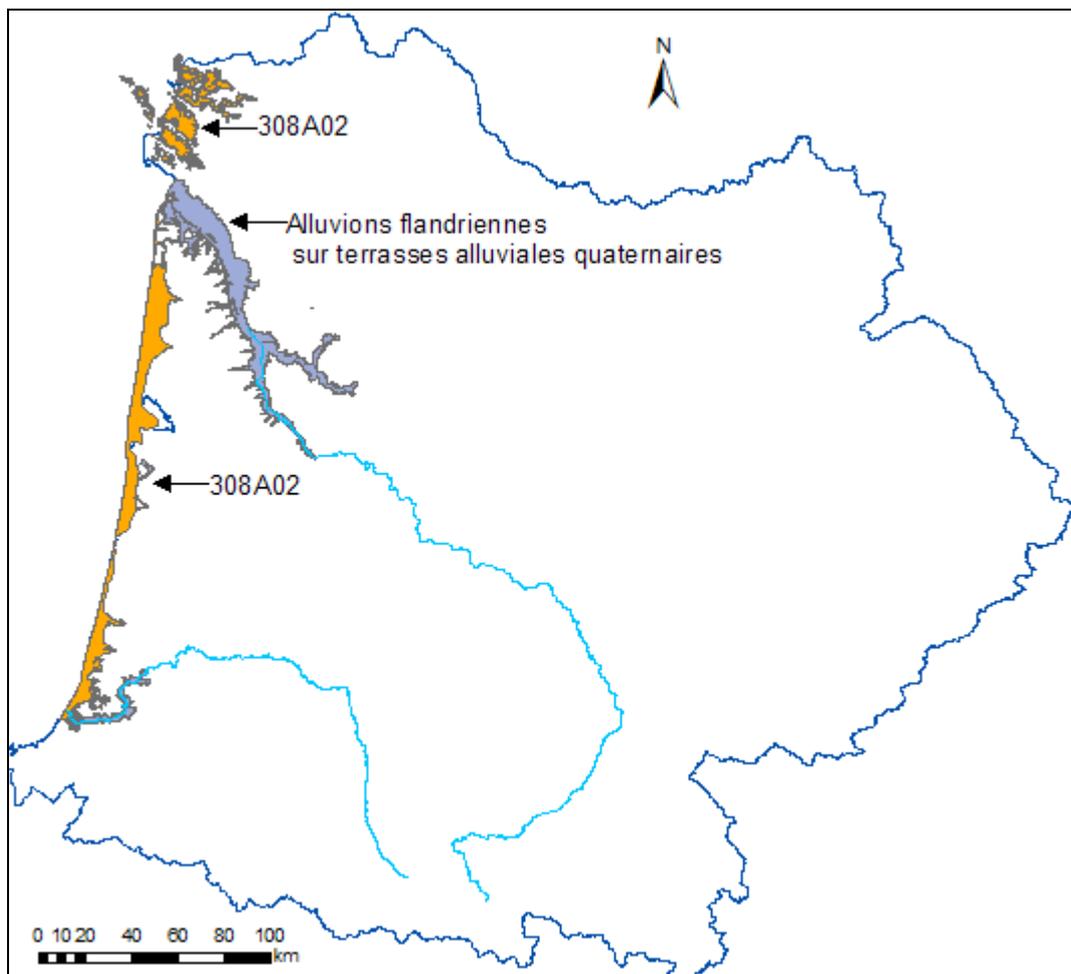


Illustration 43 - Traitement des formations du Flandrien en Aquitaine.

8.2. CAS DU BASSIN RHONE-MEDITERRANEE

Les formations classées dans le thème alluvial correspondent à tous les dépôts quaternaires représentés par des sables, graviers, galets et éléments fins et/ou argileux contenant une nappe en liaison hydraulique avec un cours d'eau. Par contre, les terrasses d'alluvions anciennes qui ne sont pas connectées directement avec les cours d'eau sont rangées dans le thème sédimentaire.

Par exemple, dans le département des Pyrénées-Orientales, les alluvions récentes contenant une nappe à caractère permanent en liaison avec les eaux superficielles circulant dans l'Agly, la Têt, le Réart ou le Tech sont intégrées dans la couche des entités complémentaires alors que les alluvions anciennes de ces mêmes cours d'eau sont classées dans le thème sédimentaire.

De même, dans les départements du Gard et de l'Hérault, les alluvions anciennes de la Vistrenque et de la plaine située entre Mauguio et Lunel, qui ne sont pas directement connectées aux cours d'eau, ont été classées dans le thème sédimentaire.

En niveau 2, les entités de thème alluvial correspondent aux alluvions de l'ensemble d'un cours d'eau, comme par exemple les alluvions des Gardons alors qu'en niveau 3, ces alluvions ont été découpées selon les critères géographiques en Gardon d'Alès, Gardon d'Anduze, Gardons réunis et Bas Gardon.

Dans le bassin, ont été délimitées 118 NV3 et 89 NV2 (illustration 44 pour les NV2).

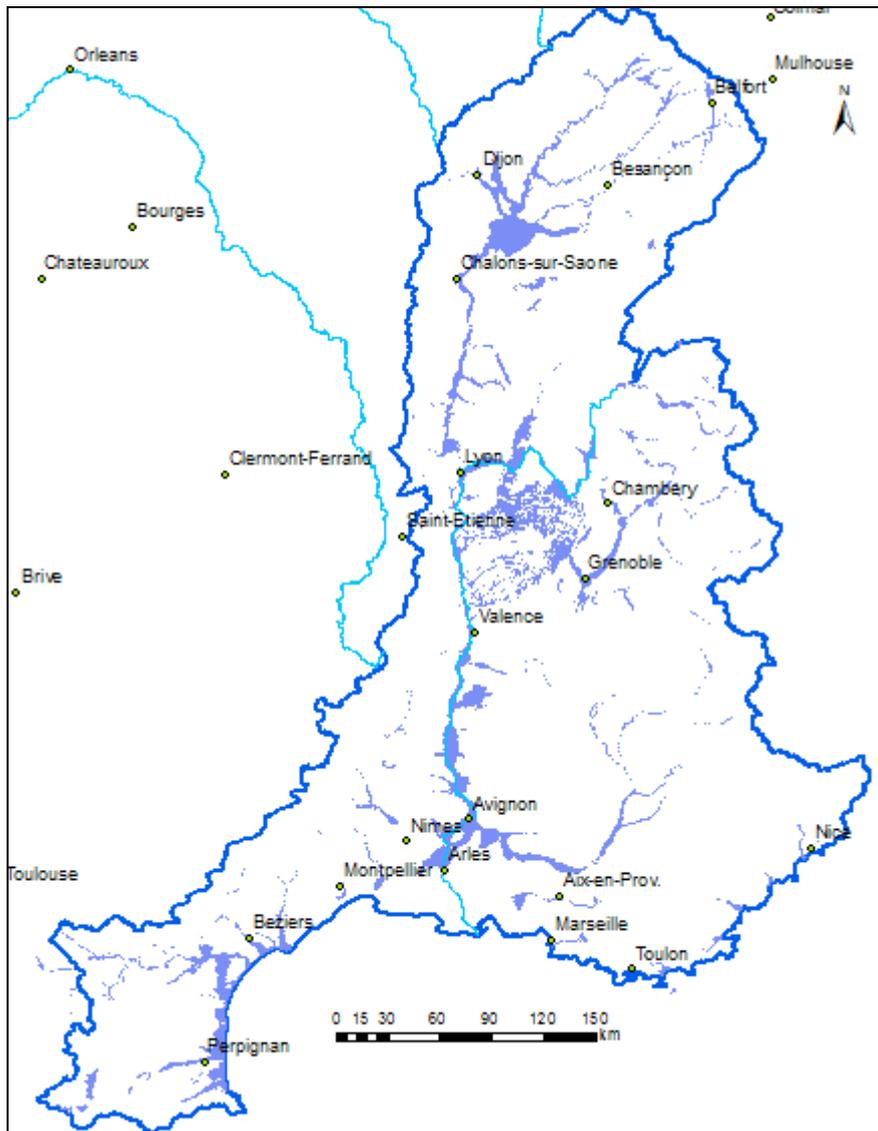


Illustration 44 - Entités alluviales NV2 du référentiel dans le bassin Rhône-Méditerranée.

9. Limites des entités

9.1. LIMITES HYDRAULIQUES

Les limites latérales entre une entité et ses voisines sont représentées uniquement pour les polygones d'ordre 1 du niveau local (NV3). Elles sont caractérisées par un attribut associé aux arcs qui les composent.

Les limites entre entités (polygones) sont extraites automatiquement par le modèle de gestion du référentiel et intégrées dans la géodatabase du référentiel (couche polygones).

Comme pour la caractérisation des entités, et pour les mêmes raisons, les limites sont qualifiées uniquement au niveau 3.

Les différents types de limites prévus par le guide méthodologique de 2003 sont présentés par l'illustration 45.

9.2. NATURE DES CONTACTS ENTRE ENTITES

Une alternative possible à la qualification hydrodynamique d'une limite (ce n'est ni toujours possible, faute d'information, ni évident sachant qu'un « arc limite » peut lui-même être subdivisé en limites de plusieurs types) consiste à définir plutôt **la nature des contacts entre entités**. (aquifère/aquifère, aquifère/domaine...).

La recherche de la nature des contacts peut en effet se faire **automatiquement** à l'aide du modèle de gestion à partir de la table des polygones élémentaires de niveau 3 construits par le modèle de gestion.

Si l'on convient de ne distinguer à ce niveau 3 que les aquifères (notation A) et les domaines (notation D) regroupant unités semi-perméables et unités imperméables et si l'on s'intéresse aux contacts d'un polygone élémentaire avec ses voisins latéraux (4 possibilités théoriques : AA, AD, DD, DA) et immédiatement sous-jacents (4 possibilités aussi), on obtient alors 16 combinaisons possibles de nature de contact (en fait, certaines sont bien sûr équivalentes en termes hydrodynamiques), par exemple :

$$\frac{A/A}{A/D}, \frac{A/D}{A/D}, \frac{D/D}{A/A}, \dots$$

Par ailleurs, à une nature de contact, il est possible dans certains cas de rattacher un type de limite (exemples fournis dans le tableau de l'illustration 46).

Dans cette première version du référentiel seule la nature des contacts a été intégrée à la géodatabase.

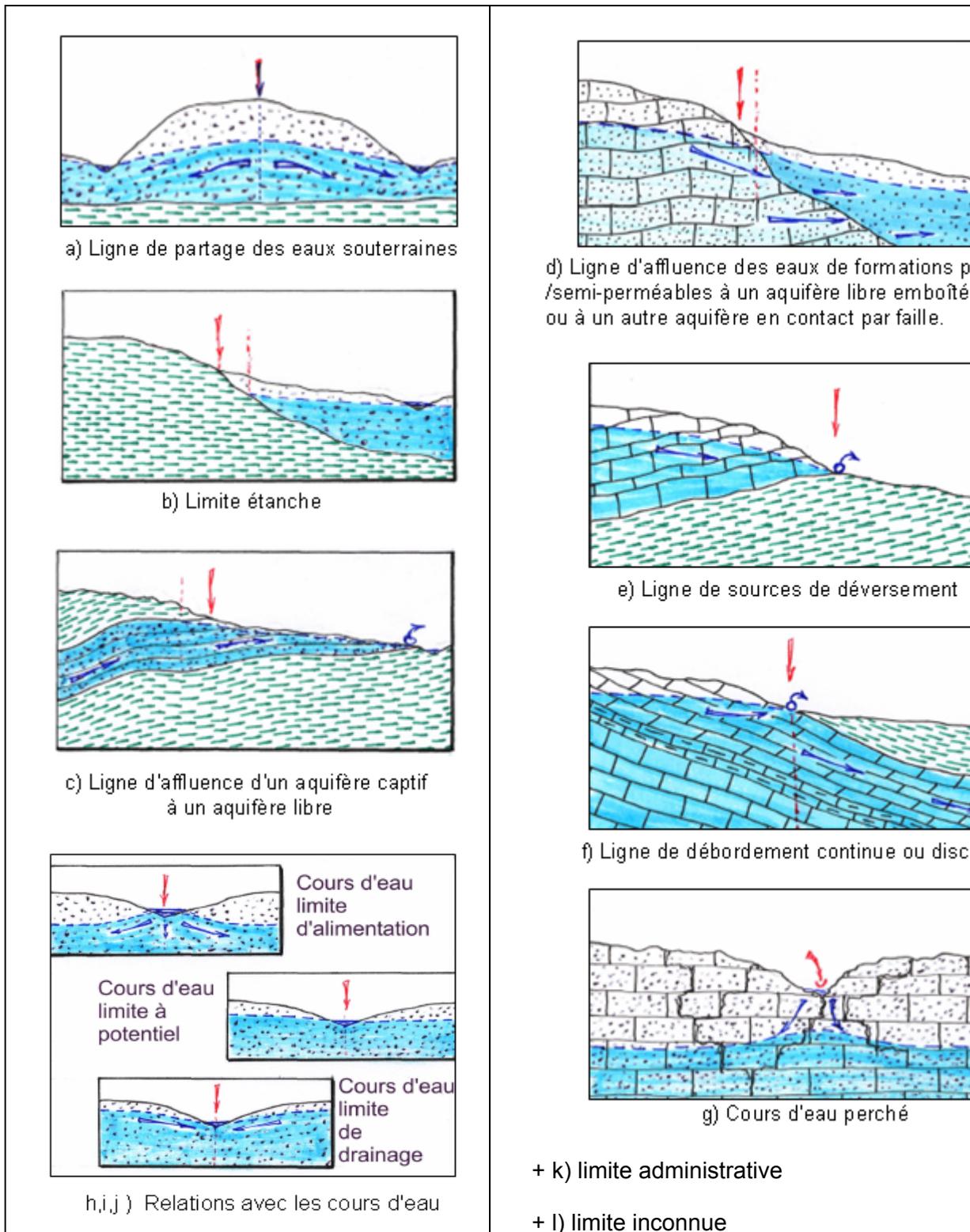


Illustration 45 - Types de limites possibles entre entités.

Nature des contacts	Type de limite possible (guide méthodologique)
Aquifère sur aquifère	Ligne d'affluence des eaux de formations perméables ou semi-perméables à un aquifère libre emboîté ou à un autre aquifère en contact par faille (cas d)
Aquifère / aquifère	Ligne de partage des eaux souterraines (cas a) = Limite à flux nul
Aquifère/ domaine	Limite « étanche » (cas b) = Limite à flux nul
Aquifère sur domaine	Limite « étanche » (cas b) = Limite à flux nul Ligne de sources de déversement (cas e)
Aquifère sous domaine	Ligne d'affluence d'un aquifère captif à un aquifère libre (cas c) Généralisable en « Limite de recouvrement » (pouvant coïncider avec la limite de captivité). Cela ne préjuge pas du sens d'écoulement.
Domaine sur aquifère	Ligne de débordement continue ou discontinue (cas f)
Domaine / Domaine	Cas particulier de deux formations peu perméables en contact (limite « étanche »)

Illustration 46 - Correspondances entre nature des contacts et limites hydrauliques.

10. Outil de construction du référentiel

L'assemblage des entités, après numérisation des contours, a été réalisé à l'aide d'un outil développé sous ArcGis et appelé « **modèle de gestion du référentiel** ». Ce modèle contrôle aussi la cohérence topologique de l'assemblage 3D et détecte les anomalies.

Tous les assemblages régionaux ont été traités avec ce modèle de gestion. Après traitements, une géodatabase est construite avec un « menu utilisateur » facilitant la visualisation des contours des entités aux différents niveaux du référentiel, la visualisation des différents ordres relatifs et permettant un contrôle supplémentaire du découpage réalisé.

On présente ici l'outil tel qu'il a été utilisé lors des découpages régionaux et de la synthèse nationale. Il ne s'agit pas d'un outil intégré au référentiel BDLISA-V0.

10.1. GÉODATABASE

Il s'agit d'une géodatabase ArcGis (version 9.31). Elle contient la table des polygones représentant les « **Entités principales** » et la table des polygones représentant les limites des entités d'ordre 1 (pour les entités NV3 uniquement).

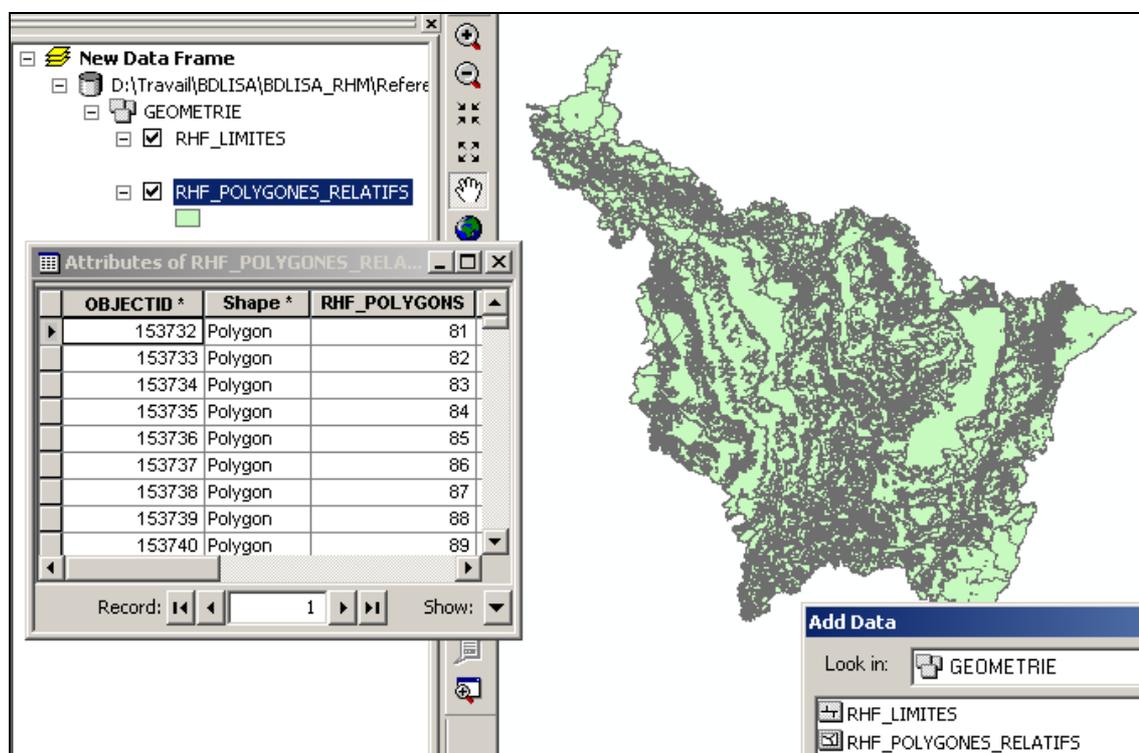


Illustration 47 - Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap.

Outre les « Entités principales », la géodatabase comprend :

- les « **Entités complémentaires** » (partie inférieure de l'illustration 47) scindées en deux classes, pour séparer les systèmes alluvionnaires des autres « entités complémentaires » (disjointes, morcelées et/ou locales) ;
- la caractérisation lithologique des entités du socle des Ardennes.

Elle contient aussi d'autres tables, sans géométrie associée (BDRHF_Table_Murs, BDRHF_Table_Toits, BDRHF_Table_Ordres,...illustration 48).

RHF_LEXIQUES_VALEURS			
	CHAMP *	CODE *	VALEUR
2	CONTACT	DAAA	Aquifère-Domaine/Aquifère-Aquifère
3	CONTACT	DAAD	Aquifère-Domaine/Aquifère-Domaine
4	CONTACT	DADA	Aquifère-Domaine/Aquifère-Domaine
5	CONTACT	DADD	Aquifère-Domaine/Domaine-Domaine
6	CONTACT	DD	Domaine-Domaine/Domaine-Domaine
7	CONTACT	DDAA	Domaine-Domaine/Aquifère-Aquifère
8	CONTACT	DDAD	Domaine-Domaine/Aquifère-Domaine
9	CONTACT	DDDA	Domaine-Domaine/Aquifère-Domaine
10	CONTACT	DDDD	Domaine-Domaine/Domaine-Domaine
11	ETAT	1	Nappe captive
12	ETAT	2	Nappe libre
13	ETAT	3	Nappe libre et captive
14	ETAT	4	Alternativement libre puis captive
15	LIMITE	A	Ligne de partage des eaux souterraines
16	LIMITE	B	Limite étanche
17	LIMITE	C	Ligne d'affluence d'un aquifère captif à un
18	LIMITE	D	Ligne d'affluence des eaux de formations
19	LIMITE	E	Ligne de sources de déversement
20	LIMITE	F	Ligne de débordement continue ou discon

Illustration 48 - Tables non géométriques de la géodatabase.

La structure de la géodatabase est conforme à celle d'un Système de Gestion de Base de Données Relationnelle (SGBDR). Son exploitation est facilitée par une boîte à outils pilotée par un menu général (illustration 49).

L'illustration 50 présente un exemple de sélection d'entité effectuée à partir du menu de l'illustration 49 ci-dessus (« Représenter l'entité par son empreise »).

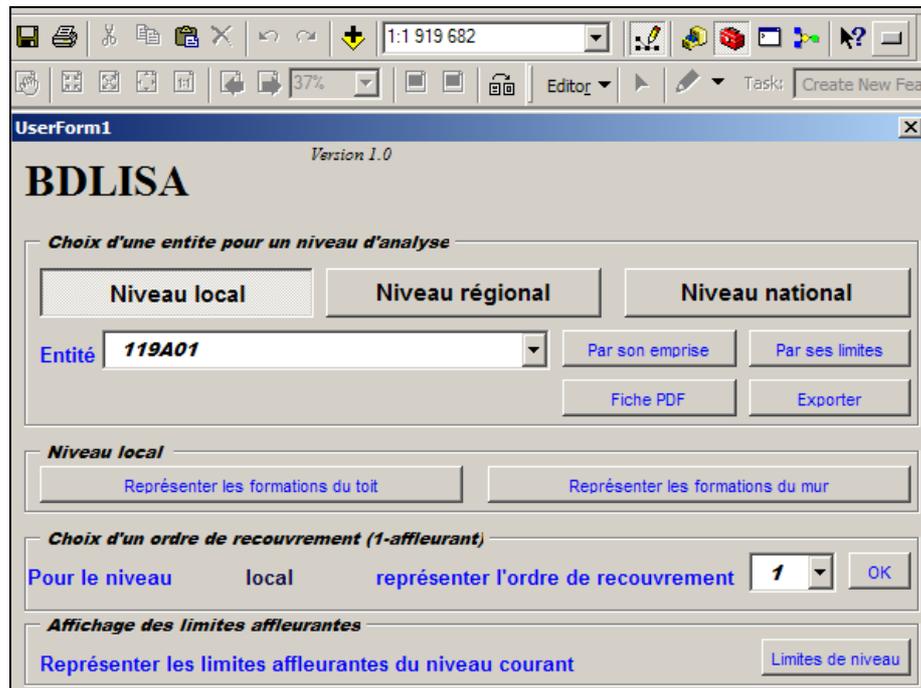


Illustration 49 - Interface utilisateur de la géodatabase.

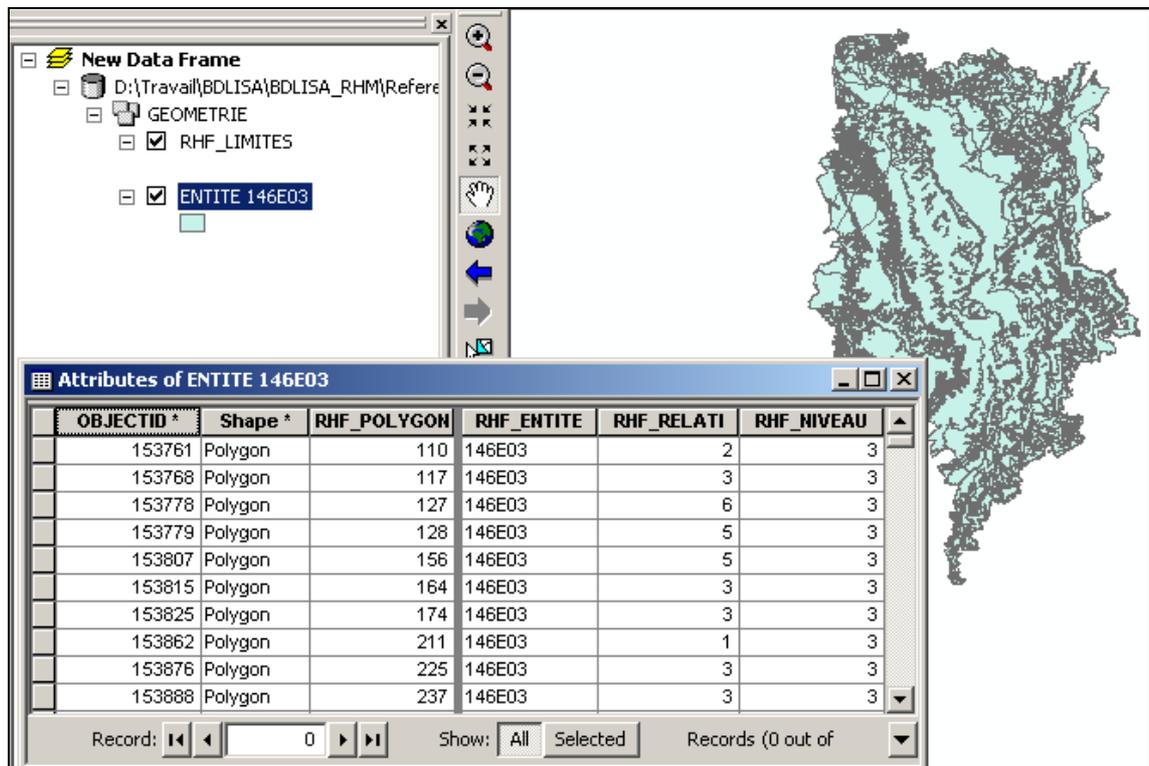


Illustration 50 - Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général.

La table attributaire correspondante contient le numéro d'ordre relatif de chaque polygone constitutif de l'entité, ce qui permet de représenter celle-ci en affectant une couleur à chaque numéro d'ordre et de connaître ainsi le nombre d'entités situées au-dessus d'elle, des affleurements jusqu'à sa limite d'extension en profondeur (illustration 51).

Il est aussi possible de sélectionner des entités d'un niveau donné (NV1, NV2, NV3) et d'un certain ordre :



L'illustration 52 présente une vue des entités de niveau 3 et d'ordre 1 (une couleur est affectée à chaque entité).

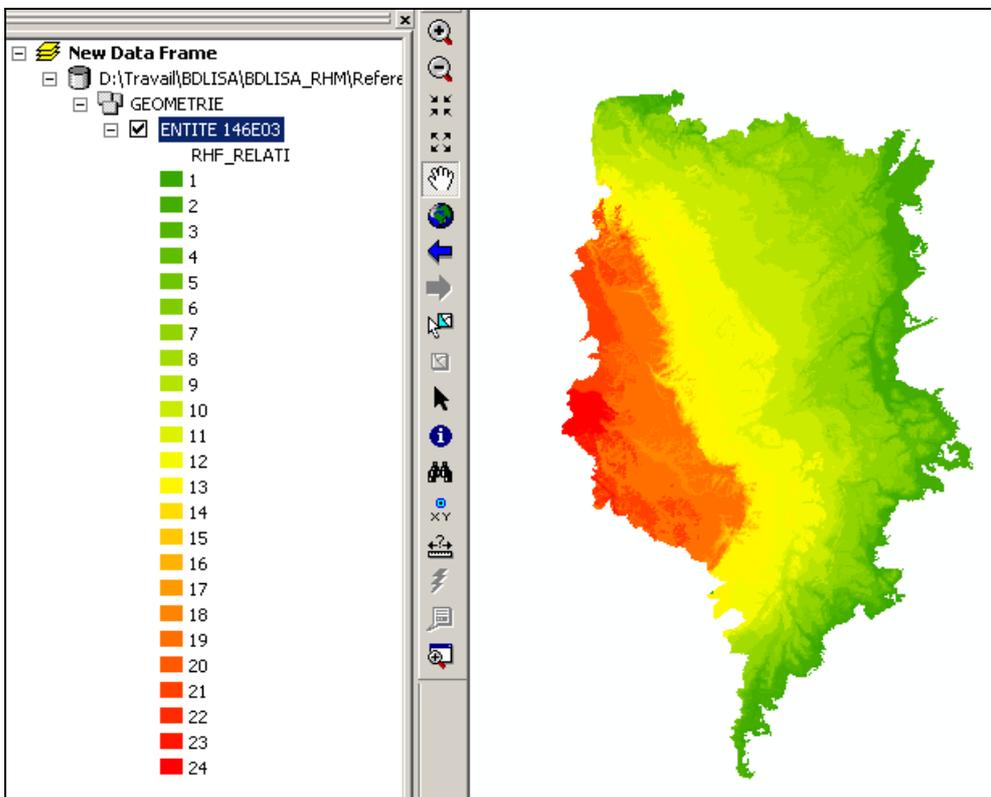


Illustration 51 - Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs).

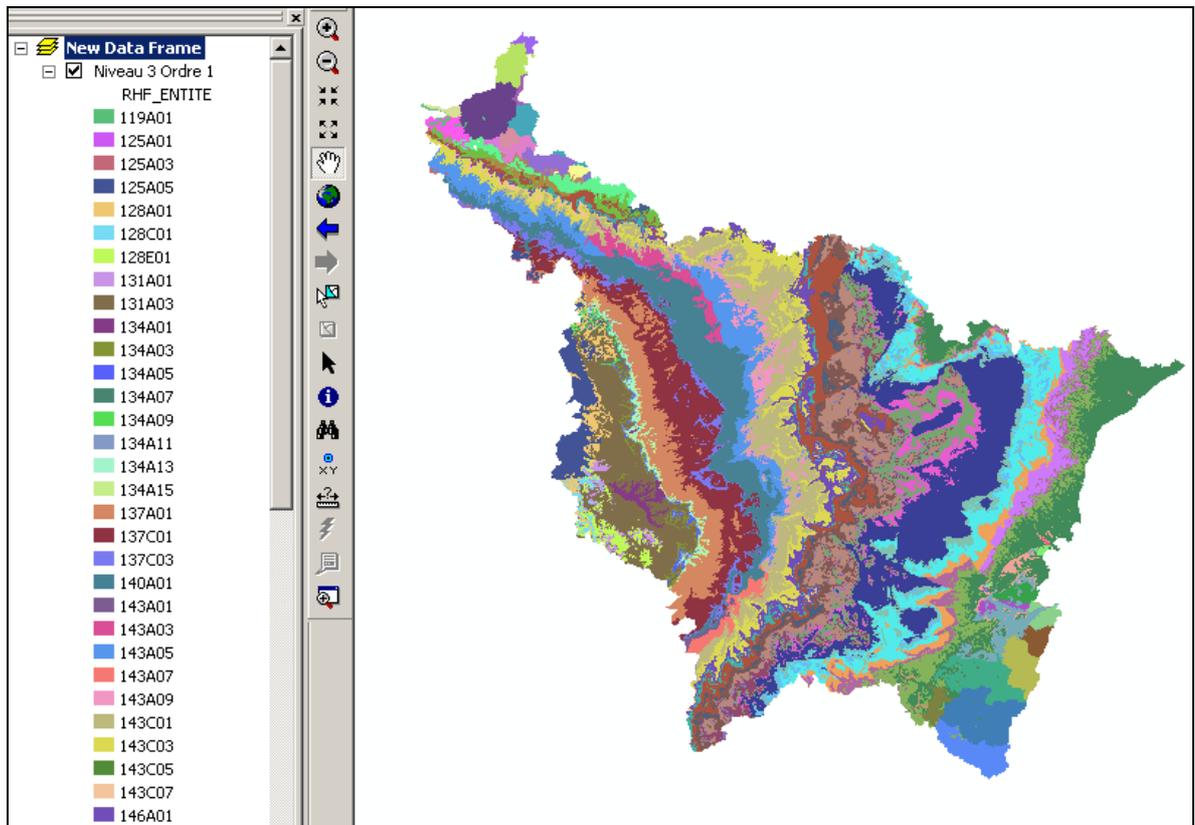


Illustration 52 - Exemple de sélection (entités de niveau 3 et d'ordre 1).

Limites et table de la nature des contacts

Elles sont aussi accessibles par le menu général. La table des limites contient l'identifiant des limites (champ ID_LIMITES) et l'identification des polygones situés de part et d'autre d'une limite (champs P_GAUCHE et P_DROIT).

Cette table contient aussi la nature des contacts entre entités (illustration 54).

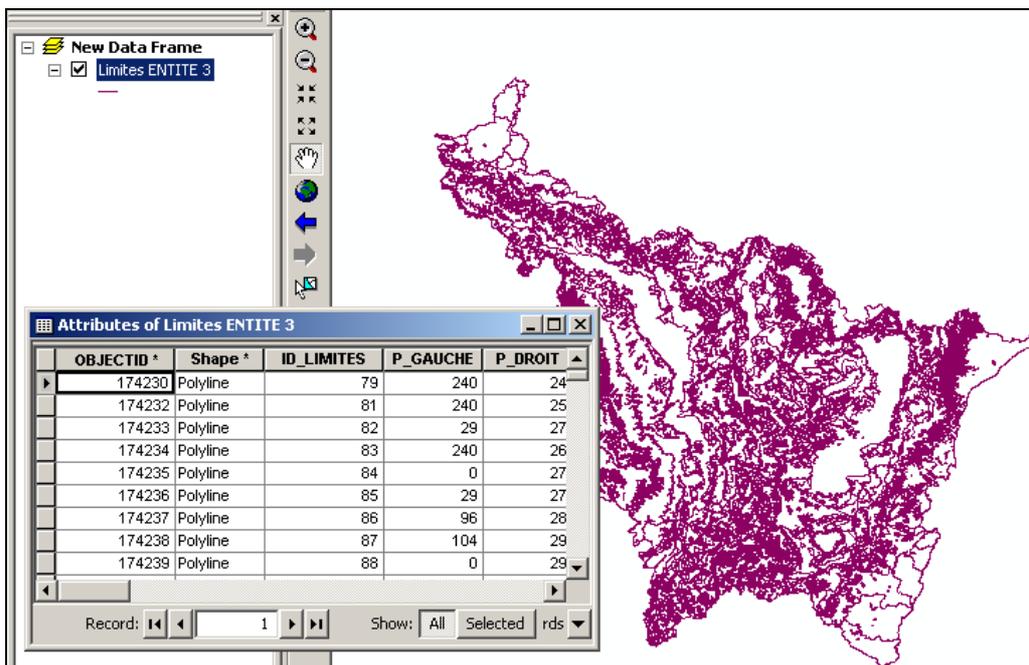


Illustration 53 - Tables des limites : identifiants des limites d'entités.

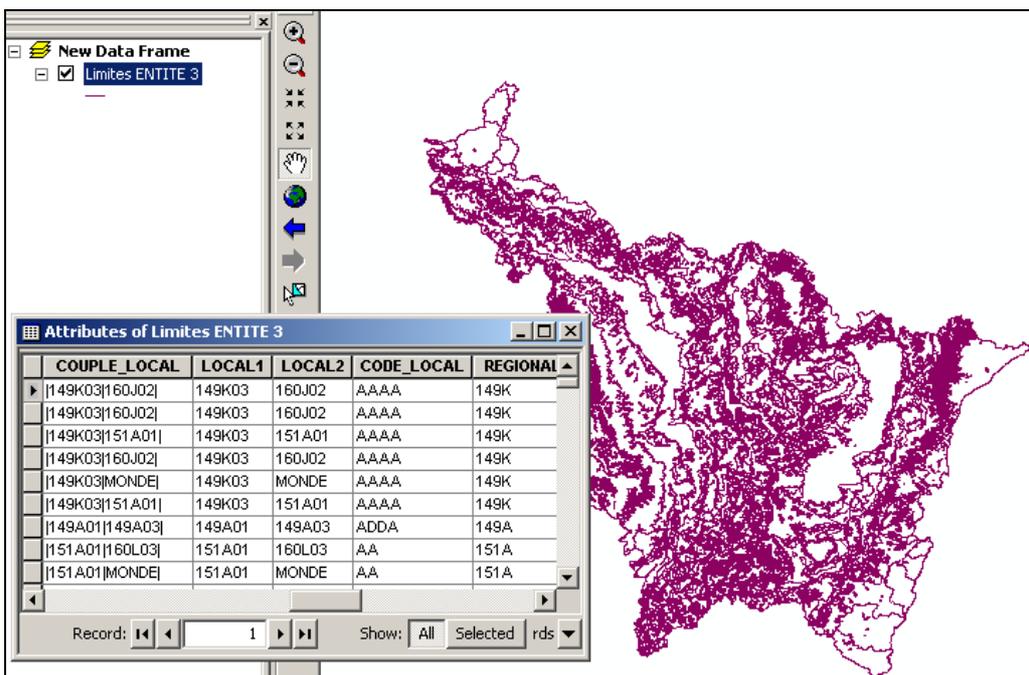


Illustration 54 - Table des limites : natures des contacts entre entités.

10.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS

Le modèle de gestion permet d'éditer automatiquement (illustration 55) pour chaque entité une fiche au format pdf permettant d'analyser les « relations » de l'entité avec ses voisines et de vérifier la cohérence de l'assemblage 3D effectué par le modèle de gestion.

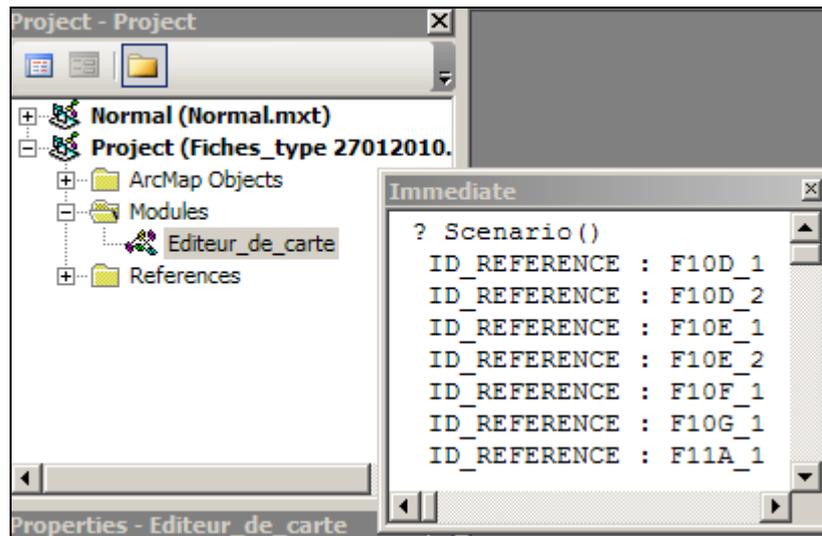


Illustration 55 - Éditeur de cartes du modèle de gestion du référentiel.

Une fiche d'analyse est constituée de plusieurs blocs d'informations. Les illustrations 56 et 57 fournissent un exemple pour une entité de niveau 3 (« Calcaires à *Productylioceras*, Marnes à *Zeilleria* et Calcaires ocreux du Lias inférieur », du bassin Rhin-Meuse).

Sur la partie droite de la fiche (illustration 56), l'entité est représentée par une gamme de couleurs qui permet de la repérer verticalement dans la succession des couches qui la recouvrent, chaque couleur correspondant à un ordre de recouvrement.

La carte du haut de la fiche (illustration 57) représente l'emprise de l'entité de niveau 2 (et celle de niveau 1) à laquelle appartient l'entité de niveau 3

Remarque : une entité NV2 pouvant être uniquement le regroupement sur une verticale d'entités NV3 sus-jacentes ou sous-jacentes d'extension moindre, l'emprise NV2 peut être identique à l'emprise NV3 (il en est de même pour l'emprise NV1).

La superficie des parties affleurantes (ordre 1) et des parties sous recouvrement (ordre 2, ordre 3...), en % de la superficie totale de l'entité, est fournie dans le bloc intitulé « *Ordre / Part %* » à gauche de cette carte.

Les blocs intitulés « *Toit* » et « *Mur* » listent les entités situées directement au-dessus de l'entité considérée (les « toits ») ainsi que les entités situées directement au-

dessous (les « murs »), avec en vis-à-vis les superficies des entités constituant ces toits et murs.

Le bloc intitulé « *Limites affleurantes de long. > 1 km* » fournit la liste des entités mitoyennes de l'entité considérée (à l'ordre 1), la nature des contacts et la longueur (en km) de chaque tronçon de limite partagée.

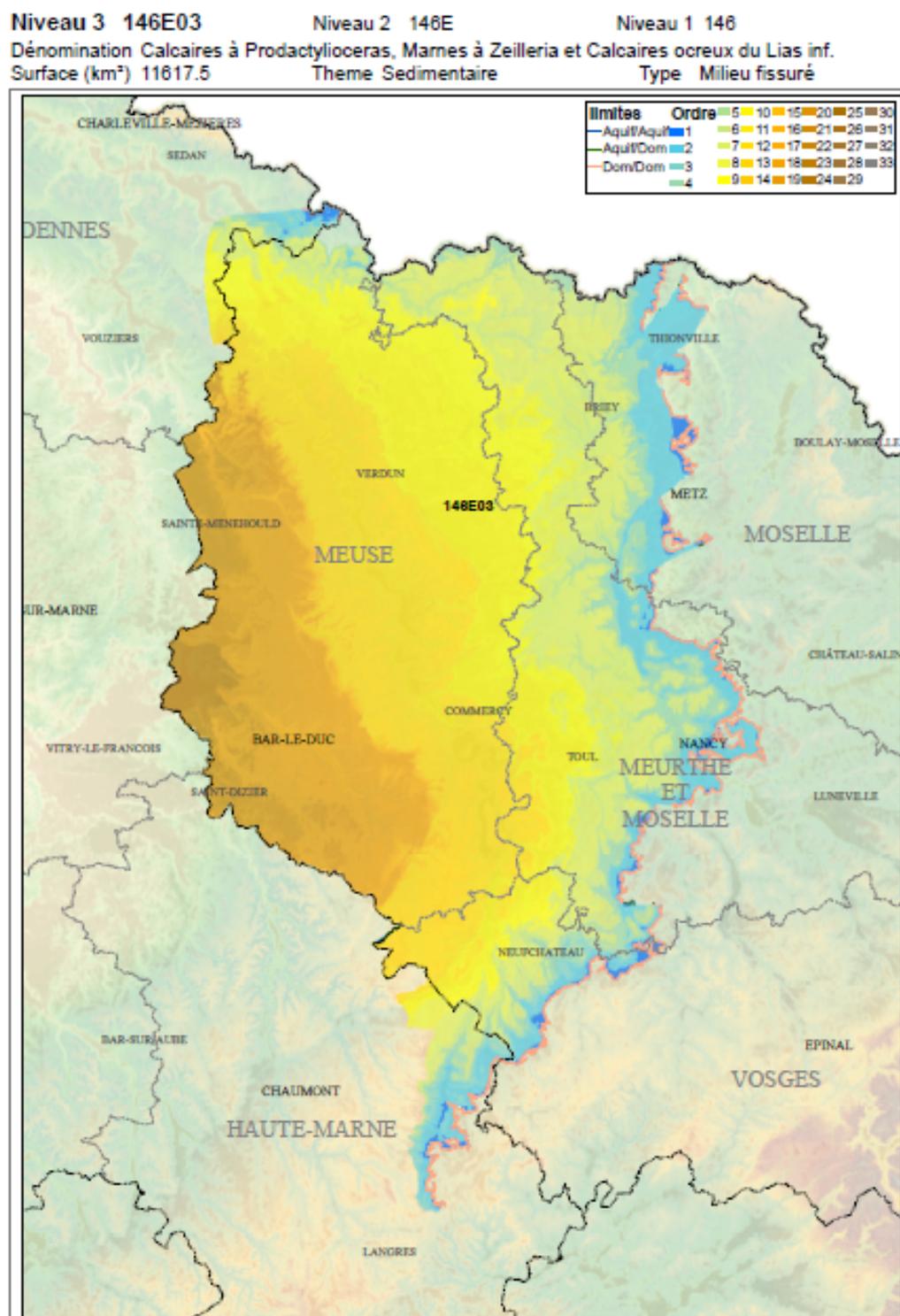


Illustration 56 - Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche).

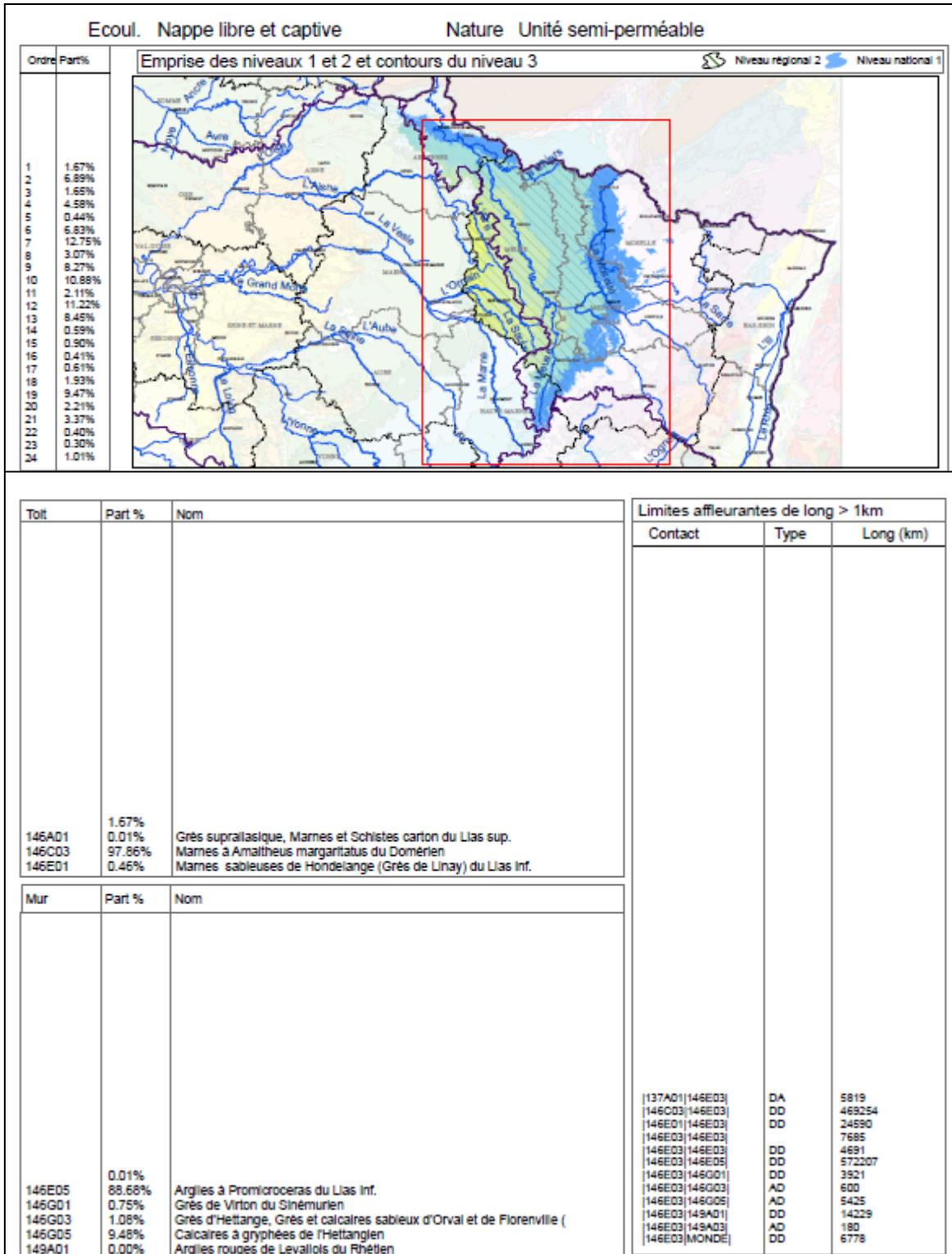


Illustration 57 - Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie droite).

11. Conclusion

Le référentiel BDLISA-V0 propose un dispositif spatial de référence qui permet :

- d'aider à la spécification et à l'élaboration des jeux de données de référence du Système d'Informations sur l'Eau (SIE) :
 - le référentiel des aquifères,
 - le référentiel des masses d'eau souterraines établies pour l'application de la directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000,
 - le référentiel des sites de surveillance des eaux souterraines, y compris l'association des points de captage AEP aux points de surveillance, avec l'appartenance au système aquifère et à la masse d'eau souterraine ;
- d'assurer une cohérence de représentation cartographique des ressources en eau souterraine à l'échelle du territoire national ;
- de consulter les informations associées aux entités hydrogéologiques ;
- de faciliter l'échange de ces données entre différents utilisateurs.

Les données de ce référentiel pourront être téléchargées et exportées depuis : le site du Sandre (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau) : <http://www.sandre.eaufrance.fr/>.

D'autres sites :

- les Systèmes d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines (SIGES) : SIGES Seine Normandie, Midi Pyrénées, Aquitaine, Centre... ;
- le portail ADES <http://www.ades.eaufrance.fr> ;
- le site Eaufrance <http://www.eaufrance.fr> ;

faciliteront l'accès au référentiel en pointant vers le site du SANDRE.

Le référentiel BDLISA constituant un modèle 2D d'une réalité 3D des entités hydrogéologiques en France, il est difficile, voire impossible, de représenter « simplement » l'ensemble du référentiel BDLISA sur une interface cartographique. L'accès cartographique a été adapté pour les utilisateurs de ce référentiel.

Cette interface cartographique permettant différentes requêtes (recherche d'une entité par nom, code, région, commune, au droit d'un jeu de coordonnées géographiques) est accessible à l'adresse suivante : <http://www.reseau.eaufrance.fr/geotraitements>.

L'interface propose de télécharger les polygones de(s) l'entité(s) sélectionnée(s). Le téléchargement consiste en un fichier compressé contenant les éléments suivants :

- les polygones et attributs de l'entité ou des entités sélectionnées à partir de l'interface ;

- la métadonnée sous forme XML ISO 19115 (respectant le format INSPIRE) ;
- la métadonnée sous forme PDF ;
- la fiche pdf de(s) l'entité(s) sélectionnée(s).

Les polygones sont proposés dans le format shapefile (ArcGis) et MIF/MID (MapInfo).

Le téléchargement est réalisé avec les systèmes de projection en vigueur (lambert 93 en métropole, Corse et systèmes adéquats dans les départements d'Outremer).

Le référentiel BDLISA est accompagné d'une notice d'utilisation, également téléchargeable sur les différents sites. Le référentiel BDLISA est public et libre de tous droits d'utilisation, sous réserve d'en indiquer la source.

12. Références bibliographiques

12.1. LISTE DES RAPPORTS REGIONAUX

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

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.

Seine-Normandie

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

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.

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.

Adour-Garonne

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

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

Pédron 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.

Pédron 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.

Saplaïroles M., Baudry D., Pédron 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

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

Rhône-Méditerranée et Corse

Lamotte C. (2001) - Actualisation de synthèses hydrogéologiques régionales sur Rhône-Méditerranée-Corse. Présentation de la base de données informatiques. 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

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

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

12.2. RAPPORTS DE LA PHASE METHODOLOGIQUE

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.

12.3 RAPPORTS NATIONAUX

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-61034-FR. 154 p., 57 ill., 2 ann., 1 DVD.

Annexe 1

Comment délimiter les entités avec ArcGis

1. Utilisation du mode éditeur

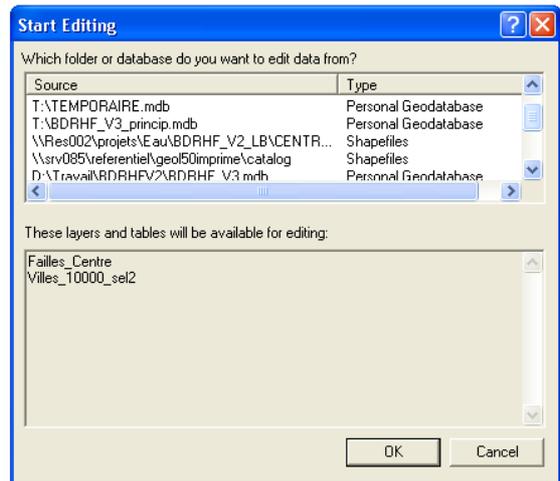
Les opérations de délimitation des entités nécessitent l'utilisation du mode "Editeur" dans ArcGis.

Choisir ce mode puis ouvrir une session de mise à jour.

Pour modifier une couche, la charger dans le projet ARCGIS.

Utiliser le mode éditeur sur cette couche en cliquant sur [Editor/**Editeur**],

puis [Start editing/**Ouvrir une session de mise à jour**].

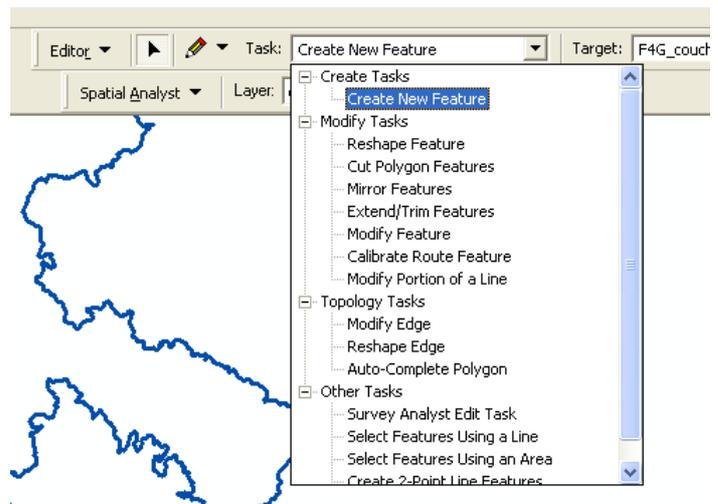


Rechercher le dossier ou la base de données qui comporte la couche à modifier.

Toutes les couches placées dans le même dossier peuvent alors être choisies dans le menu déroulant de l'éditeur [Target/**Cible**].

Attention! Vérifier que la bonne couche est bien affichée dans la fenêtre de l'éditeur, car celui-ci choisit la dernière couche modifiée automatiquement). Si ce n'est pas le cas, sélectionnez avec [Target/**Cible**] la couche souhaitée.

Dans l'éditeur, le menu déroulant du [Task/**Tache**] permet de choisir entre différentes fonctions :



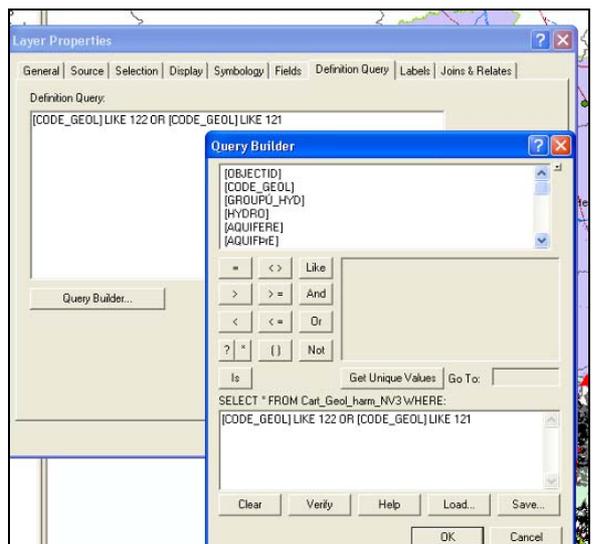
Les quatre fonctions les plus utiles dans les tâches de découpage sont :

- **1) [Create new feature/Créer une nouvelle entité]** qui permet de créer des polygones (cf. § 2.1.) ;
- **2) [Reshape feature/Remodeler l'entité]** qui permet de changer une partie du polygone par le tracé d'une ligne qui coupe le polygone (cf. § 2.2.) ;
- **3) [Cut polygon feature/Découper des entités surfaciques]** qui permet de scinder en deux ou plusieurs parties un polygone, afin de supprimer une partie superflue (cf. § 2.3.) ;
- **4) [Modify feature/Modifier l'entité]** qui permet d'insérer et de déplacer des [Vertex/Sommets] directement sur un polygone (cf. § 2.4.).

Pour commencer à cartographier l'entité, la première étape peut être la sélection des polygones de la carte géologique qui correspondent à l'entité que l'on veut cartographier. Pour cette sélection, cliquer sur [Select by attributes/Sélection par attributs].

Pour afficher les polygones voulus, double cliquer sur la couche de la carte géologique harmonisée puis sur [Definition query/Ensemble de définition].

Cliquer sur le [Query builder/Générateur de requêtes] comme affiché dans la fenêtre ci-contre et taper les critères de sélection en langage SQL (ex ci-contre : tous les polygones dont le code géologique est 122 ou 121).



Ensuite, aller dans la barre de menu d'ARCGIS sous [selection, set selectable layers/sélection, Définir les couches sélectionnables], et choisir la couche souhaitée, par exemple la carte géologique harmonisée

Attention!

Décocher d'abord toutes les couches par sécurité

[*Clear all/Effacer tout*].

Cette limitation de la sélection est une **sécurité** pour restreindre la sélection uniquement à la couche souhaitée.

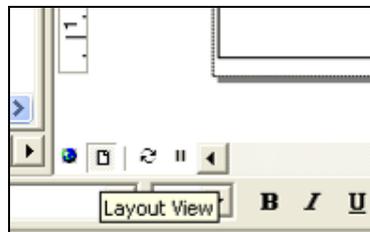
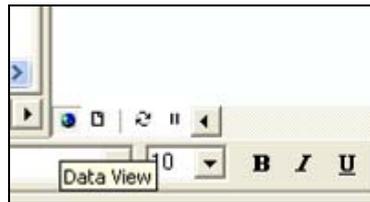


Cliquer ensuite avec le bouton droit de la souris sur la couche de la carte géologique, puis faire [*Select all/Sélectionner tout*]. À ce stade, tous les polygones de la carte définis précédemment sont sélectionnés.

Il est alors possible de copier la sélection et de coller ces polygones dans la couche modifiable (celle que l'on a précédemment ouverte dans la session d'édition).

Attention !

On ne peut copier des entités que si l'on est en mode [*Data View/Mode données*]. Il ne faut pas être en [*Layout View/Mode mise en page*].



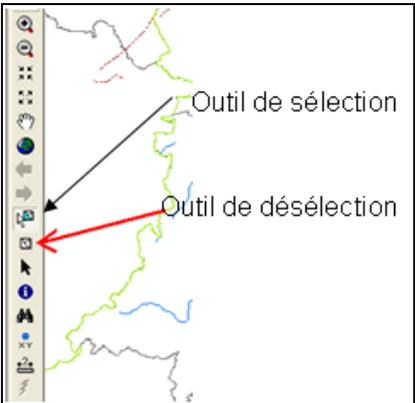
Deux solutions existent pour copier :

- CTRL+C (copie les entités sélectionnées qui ne sont pas nécessairement dans la couche éditée) puis CTRL+V (colle ces entités dans la couche en cours d'édition).
- Aller dans [*Edit/Édition*] dans le menu en haut à gauche puis [*Copy/Copier*], puis [*Paste/Coller*].

Le résultat peut être vérifié en ouvrant la table attributaire de la couche en cours d'édition. Les polygones ajoutés se repèrent facilement car ils restent sélectionnés (lignes colorées).

Pour les désélectionner, le plus rapide est d'utiliser l'outil de la barre d'outils [Deselection/**Désélectionner**].

Un autre moyen est la sélection d'un polygone particulier ou d'un ensemble directement sur la carte avec l'outil de [Selection/**Sélectionner**] situé juste au dessus de celui de la désélection.

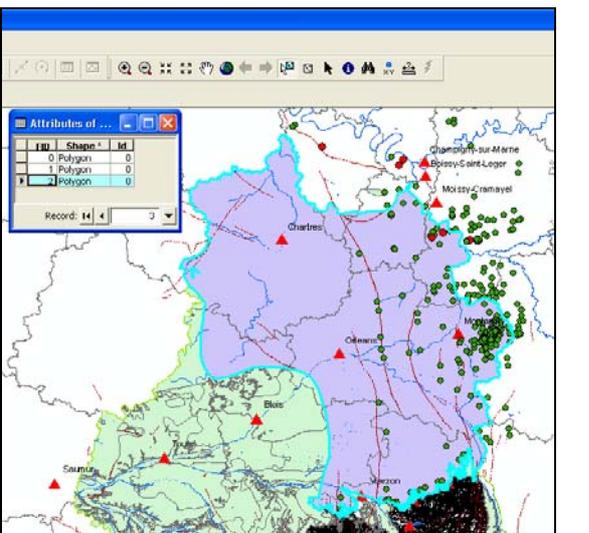


Attention ! Vérifier que l'entité est sélectionnable (sous [selection, Set selectable layers/**sélection, Définir les couches sélectionnables**]).

En gardant la touche **MAJ** enfoncé, il est aussi possible de sélectionner **plusieurs entités à la suite**.

Si l'on souhaite supprimer [**Delete /Supprimer**] les polygones, sélectionner des polygones dans la carte ou dans la table attributaire: [Attribute table/**Table attributaire**], et clic droit de la souris en se positionnant à gauche de la ligne , puis [**Delete selected/Supprimer les enregistrements sélectionnés**] ou bien la touche **SUPPR** directement.

Attention ! Il faut être en mode édition de la couche pour que la suppression fonctionne.



2. Délimitation des parties affleurantes des entités

Pour délimiter les parties affleurantes des entités, il est possible d'utiliser (au moins) quatre grandes méthodes selon les cas à traiter :

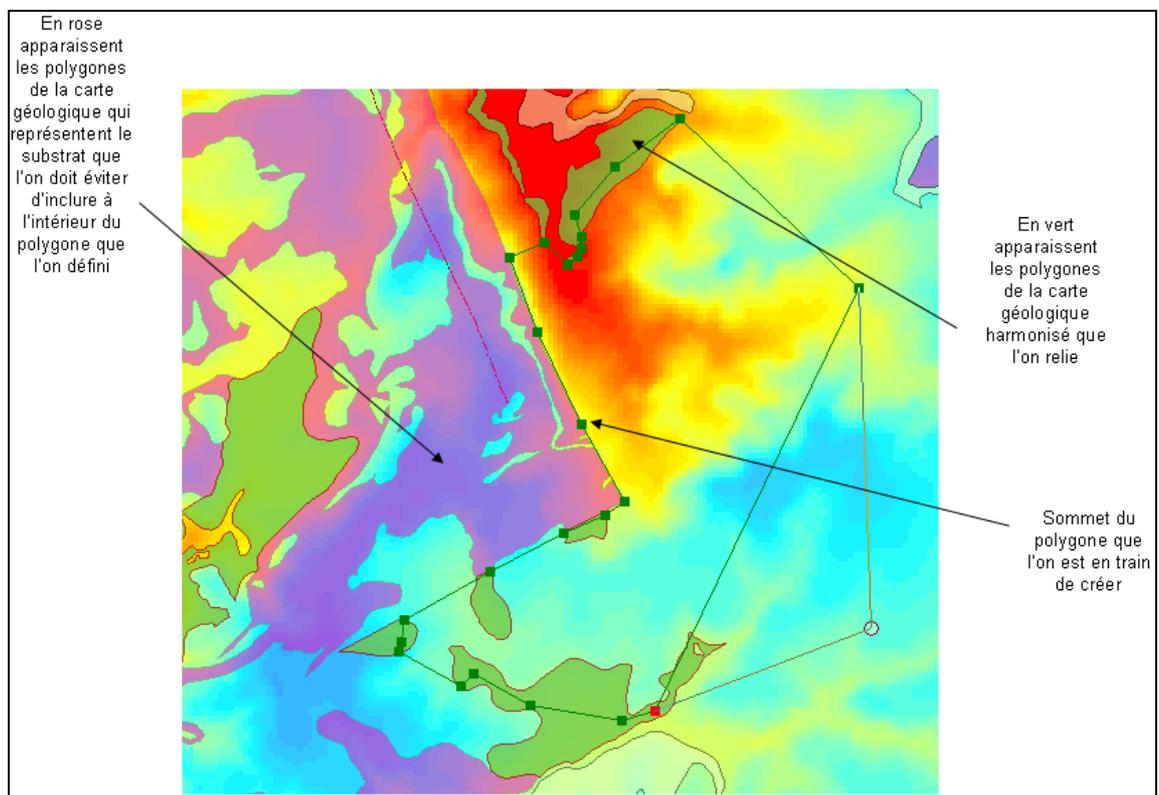
- Méthode 1 : on relie, en traçant un polygone global, les affleurements de la carte géologique harmonisée ;

- Méthode 2 : on modifie les polygones issus de la carte géologique harmonisée en déplaçant leurs sommets ;
- Méthode 3 : on ajoute à la couche des formations de la carte géologique harmonisée qui recouvrent celle que l'on veut cartographier, puis l'on coupe ces dernières de manière à éliminer les parties que l'on ne veut pas prendre en compte ;
- Méthode 4 : on définit un grand polygone puis l'on supprime les parties qui correspondent à des entités affleurantes d'âge plus ancien (= substratum).

Ces méthodes sont décrites ci-dessous.

2.1. Méthode 1

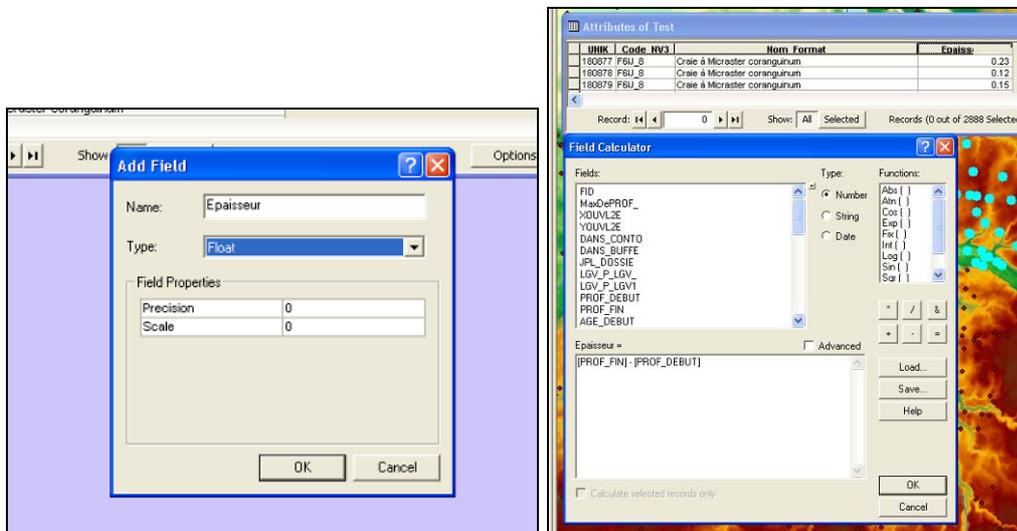
Le principe de base de cette méthode est la création d'un polygone qui intègre les différents affleurements et les lie entre eux comme le montre l'illustration ci-dessous.



Pour les délimitations, trois types de données sont utiles:

- les affleurements de la formation à délimiter et ceux d'âge immédiatement postérieur ;
- les forages correspondants à la formation (avec visualisation des épaisseurs). Pour obtenir l'épaisseur des couches, ajouter un champ *[Add Field/Ajouter champs]*. Clic droit dans le nom du champ en haut de la colonne (ici : épaisseur) et choisir *[Field Calculator/Calculer les valeurs]* (cf. illustration).

L'utilisation du MNT (BDALTI, Modèle Numérique de Terrain) est nécessaire à l'affleurement pour l'affichage des vallées ; il permet le suivi des courbes de niveau lors du tracé des polygones.

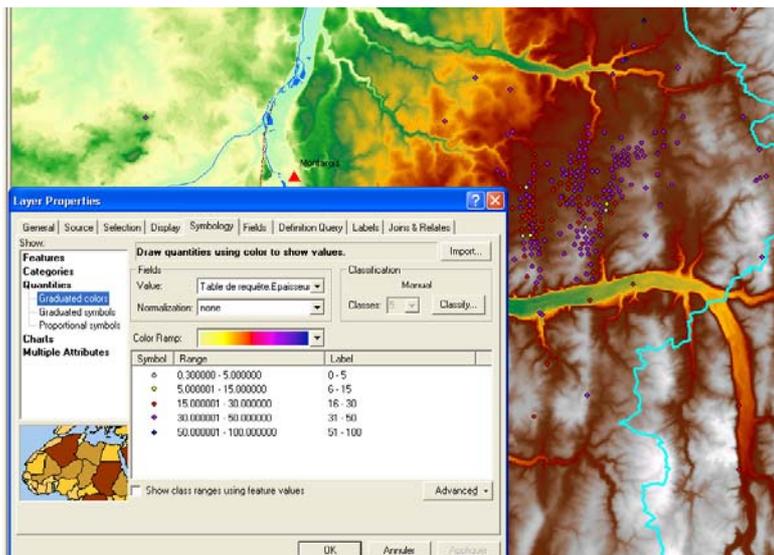


Double-cliquer sur la couche en cours de traitement puis sur

[Layer Properties

/Propriétés de la couche].

Dans [Symbology/Symbologie] l'option [Quantities/Quantités] permet de distinguer les forages selon l'épaisseur de la formation recoupée.

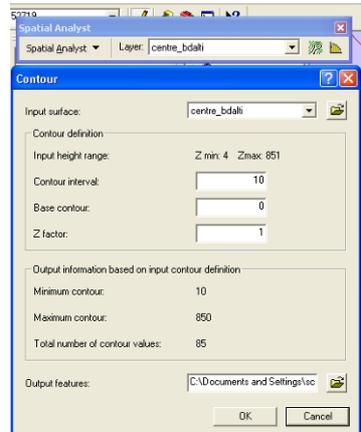


Pour que les reliefs soient bien visibles à toutes les échelles, le choix des couleurs peut être réadapté automatiquement : dans les propriétés de la couche; pour cela cliquer sur l'onglet [Symbology/Symbologie].

En mode « Stretched », faire défiler jusqu'en en bas pour sélectionner le type de visualisation : [From the current display extent/A partir de l'étendue actuellement affichée].

Pour tracer des courbes de niveau du MNT (polylignes), on peut utiliser dans Spatial Analyst l'outil [*Contour/Isoligne*].

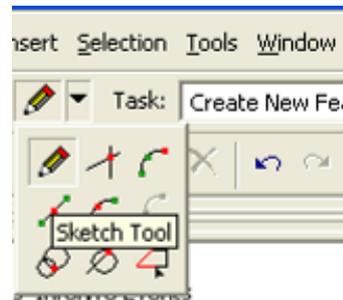
Il est ensuite possible de les "suivre" avec l'outil [*Trace tool/Outil tracé*].



1) Création d'un polygone par tracé libre

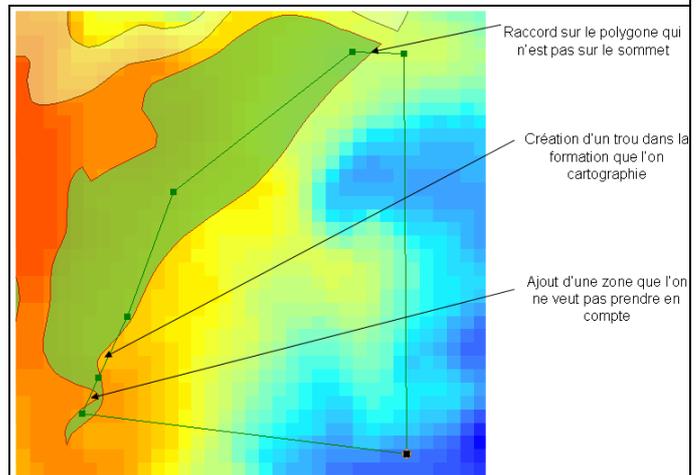
Pour tracer un polygone, aller dans la barre d'édition et sélectionner la tâche

[*Create new feature/Créer une nouvelle entité*], puis prendre l'outil [*Sketch Tool/Outil Construction*].



Cet outil permet de dessiner un polygone. Cliquer sur la carte pour dessiner le contour et terminer la construction avec un double clic.

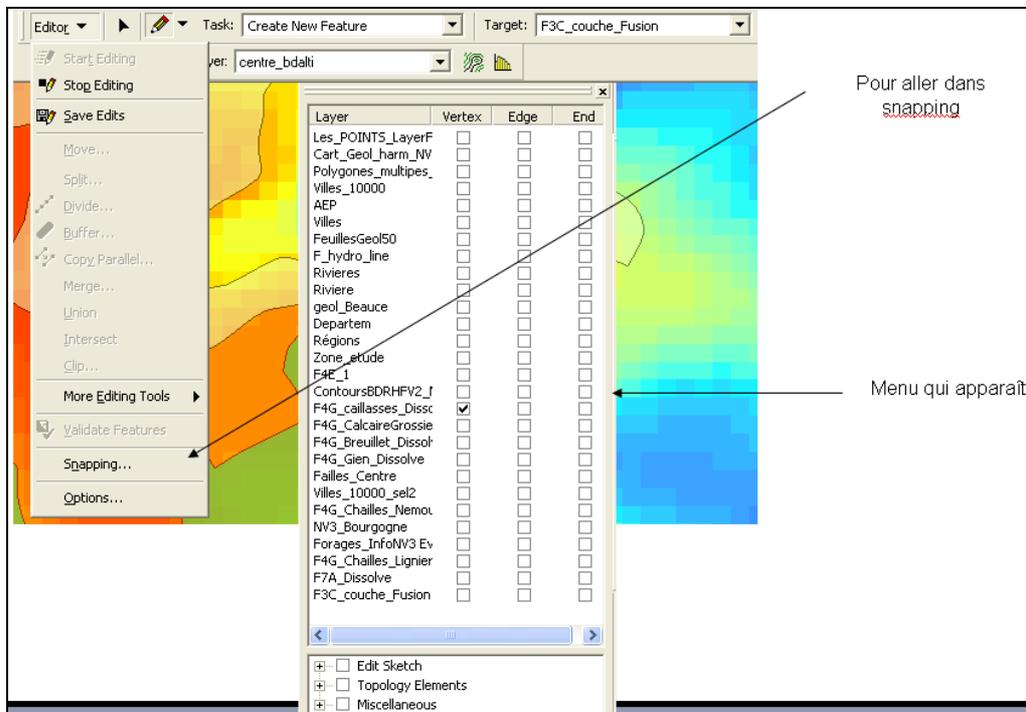
Le polygone se crée et s'insère dans la couche qui est en « mode édition ». On peut, pendant le tracé, zoomer, dézoomer, interroger une couche,... et reprendre le tracé au même point, ce qui est très pratique. Si l'on veut supprimer un sommet que l'on vient juste de créer, touches **CTRL+Z** ; deux fois, on supprime les deux derniers sommets...



Cette opération pouvant générer des artefacts, il est alors recommandé d'utiliser l'outil de [*Snapping/Capture*]. Cet outil permet de positionner les sommets du polygone que

l'on trace sur une couche de données définie. Ainsi les sommets créés se positionneront sur la ligne existante de la couche de polygones considérée.

Pour cela, aller dans la barre d'édition dans le premier menu déroulant :

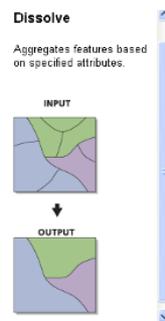


Régler la tolérance du [**Snapping/Capture**], en nombre de pixels, qui définit la distance de la souris d'une ligne à laquelle on « s'accroche » : aller dans [**Option/Options**] situé au-dessous de la fonction du snapping (cf. Illustration). Plus la valeur est haute, plus l'accrochage est facile, mais des valeurs trop hautes diminuent la finesse du tracé. (Des valeurs de 7 à 10 pixels donnent des résultats satisfaisants).

On peut changer la couche d'accrochage en cours de construction, si l'on souhaite par exemple suivre d'abord les contours géologiques, puis ensuite une isoligne du MNT.

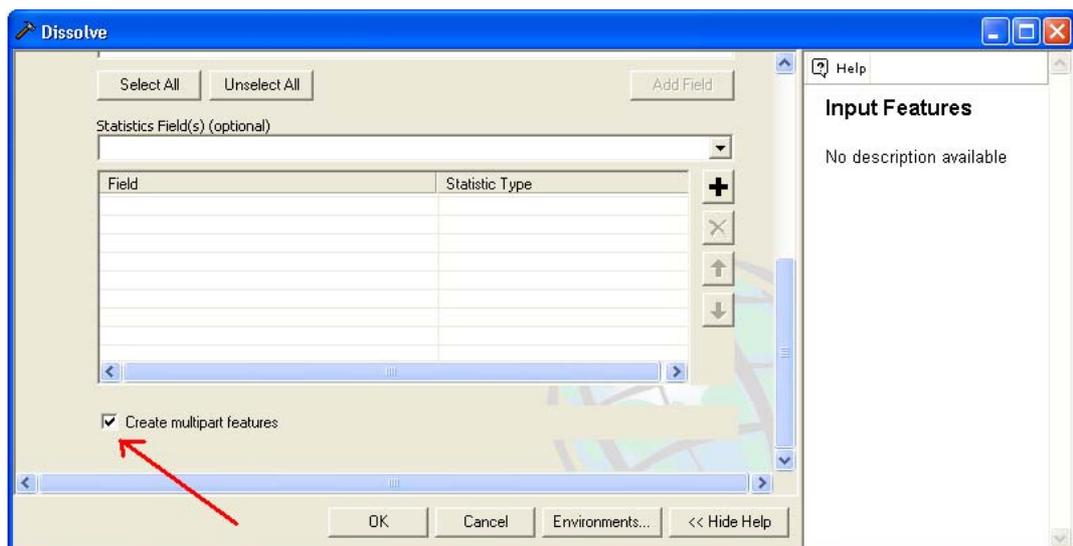
Le résultat de la création d'une unité superficielle est un ensemble de polygones de la carte harmonisée et de polygones de liaisons.

Pour fusionner ces polygones en un seul, il existe l'outil [*Dissolve/Fusionner*].



Attention ! Cette fusion peut s'opérer de deux manières différentes selon que la case [*Create multipart features/Créer des entités multi-parties*] en bas du menu déroulant est cochée ou décochée :

- cochée (ce qui est le cas par défaut), la fusion ne fournira à la fin qu'un seul polygone ;
- non cochée, il y aura autant de polygones qu'il y a d'entités disjointes. C'est cette deuxième option qu'il faut choisir.



La fusion est une opération qui peut être effectuée en tout dernier lieu.

Plusieurs polygones d'une même couche peuvent être enregistrés disjoints et apparaître dans la table attributaire sous la forme « un polygone = une ligne ». Dès lors, il est possible de sélectionner un polygone indépendamment des autres.

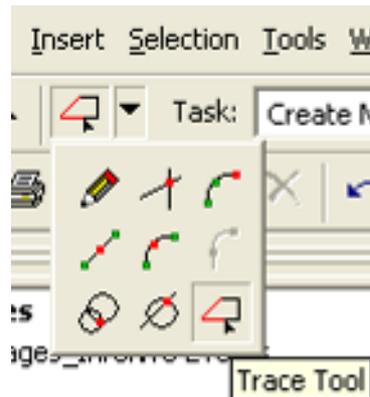
Ou bien ils peuvent être rassemblés, ne former qu'une seule entité et apparaître dans la table attributaire sous la forme d'une ligne unique.

Une couche avec plusieurs polygones par ligne peut être séparée en plusieurs polygones disjoints avec la fonction [*Multipart to single part/Multi-parties vers une partie*].

2) Suivi des contours d'un polygone

Sélectionner d'abord l'entité sur laquelle on souhaite « accrocher » le nouveau polygone.

Prendre l'outil [*Trace tool/Outil tracé*] (pour que cet outil apparaisse, se placer en mode [*Create new feature/Créer une nouvelle entité*]).

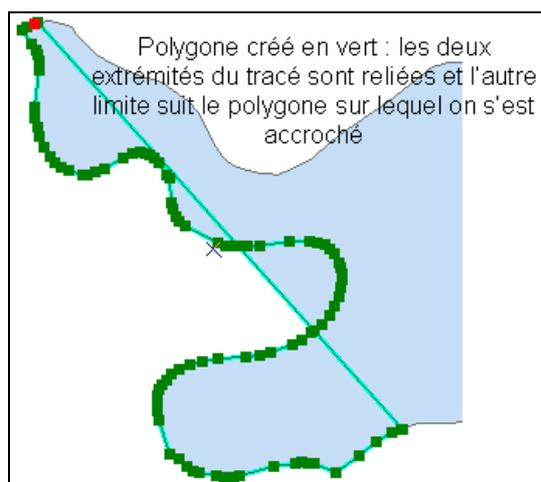


Le nouveau polygone s'appuie sur les sommets de l'entité préalablement sélectionnée. Pointer le début du tracé sur la ligne du polygone sélectionné, puis en suivre les contours et finir la construction en double-cliquant.

Il est possible de changer en cours de parcours le mode de tracé et de continuer le tracé du polygone avec par exemple [*Sketch Tool/Outil de construction*].

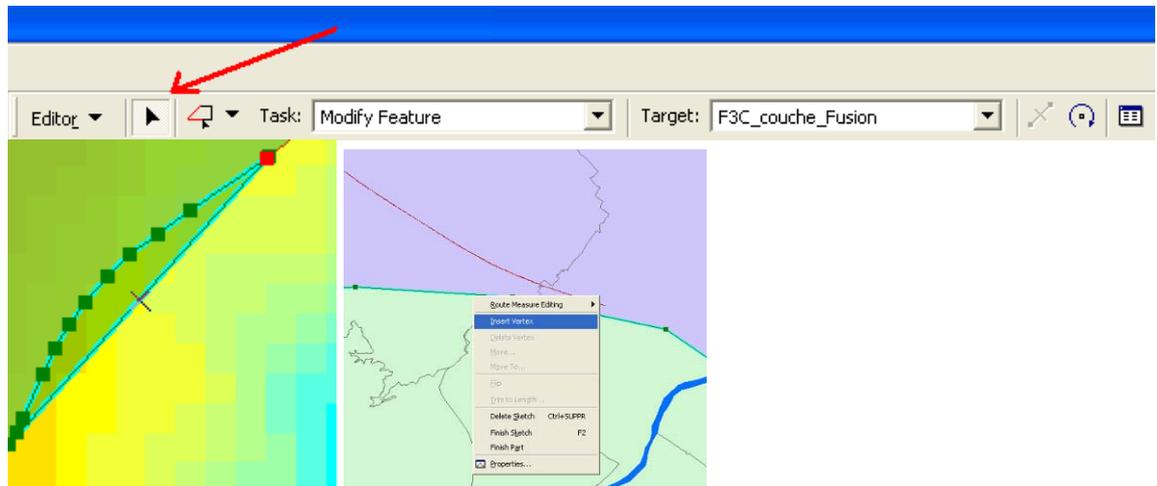
Attention! Penser à sauvegarder avant d'utiliser cet outil.

Il est possible de modifier directement l'entité ainsi créée en utilisant la tâche [*Modify feature/Modifier l'entité*]. Cette option permet de faire apparaître les sommets du polygone que l'on a préalablement sélectionné.



2.2. Méthode 2 - Modification des sommets des polygones

Il est possible de **modifier l'entité** après l'avoir préalablement sélectionnée. Prendre le curseur [*Edit tool/Outil mise à jour*] de la barre d'édition :



En cliquant sur le contour du polygone, on peut :

- insérer des sommets (cliquez droit puis [*Insert vertex/Insérer des sommets*] ;
- supprimer des vertex (cliquez droit puis [*Delete vertex/Supprimer un sommet*] ;
- déplacer les sommets existants (cliquez dessus et déplacer le vertex en restant cliqué).

Attention ! Ne pas déplacer le polygone involontairement lors des manipulations.

2.3. Méthode 3 - Découpage des polygones

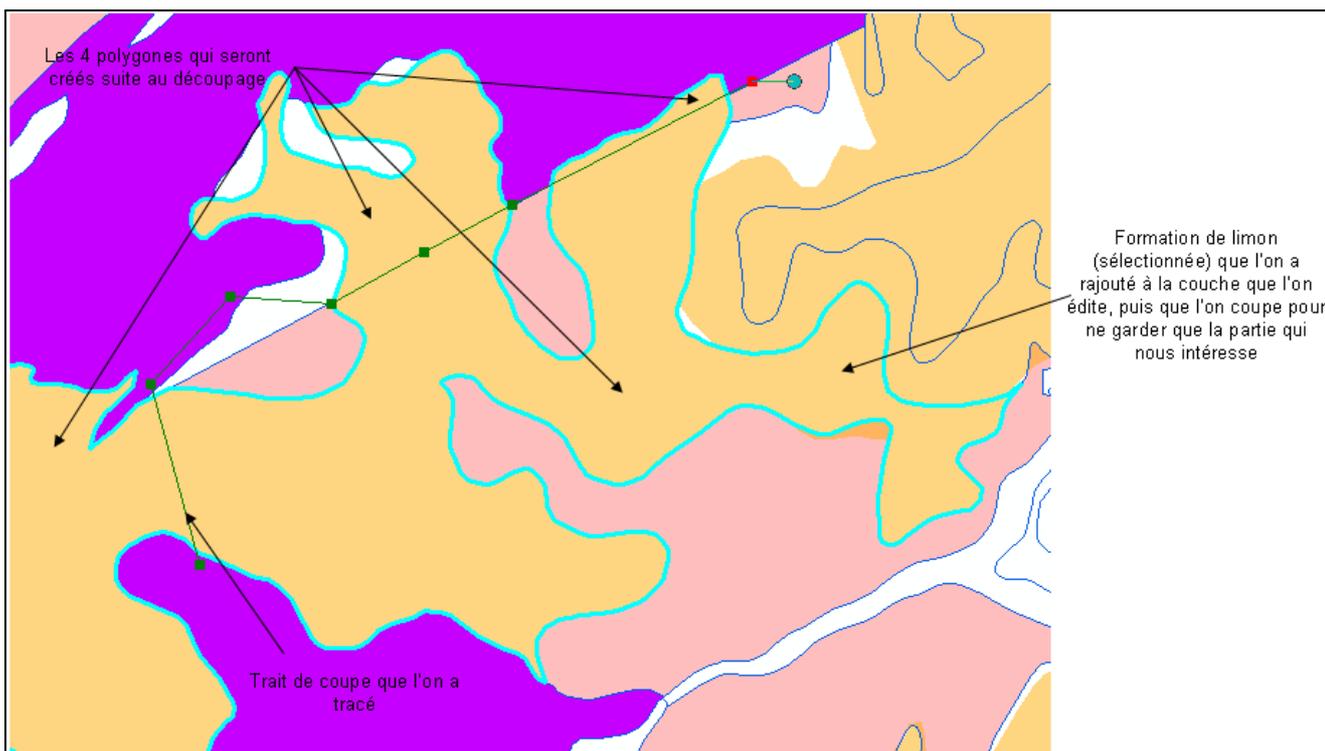
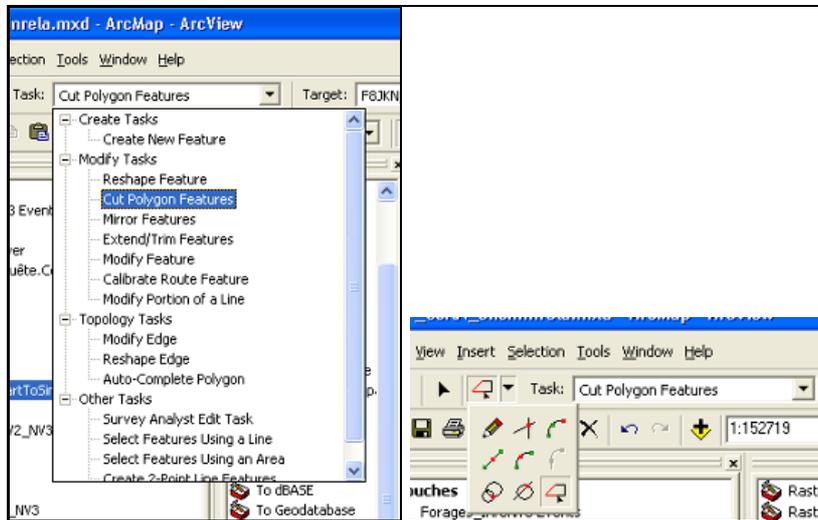
La méthode [*Cut polygon feature/Découper des entités surfaciques*] peut être appliquée pour préparer l'opération décrite au § 2.1, en créant des ensembles de polygones plus grands qu'il est ensuite plus facile de relier entre eux.

Ajouter d'abord à la couche éditée à la ou les formations géologiques qui recouvrent partiellement la formation que l'on cartographie (de type limon, colluvions ou alluvions par exemple). Cet ajout est nécessaire car les tâches du menu éditeur ne s'appliquent qu'à la couche éditée.

Sélectionner les polygones à découper et choisir la tâche [*Cut polygon feature/Découper des entités surfaciques*] (cf. illustration). Choisir ensuite l'un des outils de tracé (cf. § 2.1) pour tracer le contour suivant lequel on veut que la coupe s'effectue.

Attention! Le premier et le dernier point doivent être en dehors du polygone que l'on coupe. Il suffit de double cliquer à la fin du tracé pour déclencher l'opération de coupe.

Si l'opération n'est pas prise en compte, enregistrer les opérations au fur et à mesure (menu déroulant de gauche [*Save edits/Enregistrer les mises à jour*]).



Dans l'exemple fourni par l'illustration ci-dessus, il suffira de supprimer, parmi les quatre polygones que l'on vient de former, ceux que l'on estime être en dehors de l'emprise de la formation que l'on cartographie.

Cette opération de coupe peut être réalisée directement sur plusieurs polygones si ceux-ci sont sélectionnés en même temps.

2.4. MÉTHODE 4

Cette quatrième méthode est adaptée lorsque l'on souhaite ôter une zone qui est entièrement incluse dans un ou plusieurs des polygones de la couche modifiable, par exemple lorsque le substratum de la couche considérée affleure au centre d'une formation.

Importer (ou créer) d'abord le polygone qui sera utilisé pour découper.

Si l'on souhaite découper la couche éditée selon plusieurs polygones, il est nécessaire de fusionner dans un premier temps ces polygones afin qu'ils n'en forment plus qu'un seul.

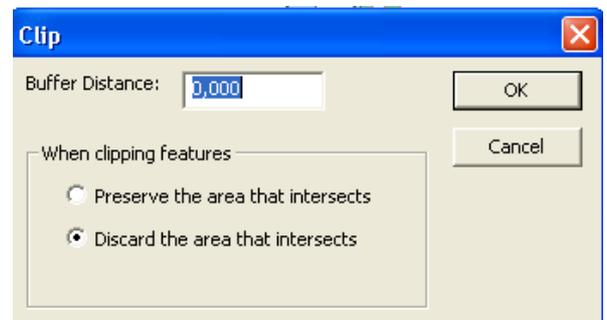
Il peut ainsi être nécessaire de créer des couches intermédiaires. On importe ensuite (par copier – coller) ce polygone fusionné dans la couche à découper.

Attention ! L'opération de découpage est susceptible d'agir sur des formations que l'on ne veut pas découper ! Il faut absolument ne laisser, dans les couches sélectionnables, que celle que l'on est en train de découper et pour cela d'abord désélectionner toutes les entités sélectionnées. Il est conseillé de créer un fichier temporaire pour cette opération.

On sélectionne ensuite le polygone qui sert pour le découpage. Puis, dans le menu déroulant de gauche de la barre d'édition, on sélectionne [*Clip/Découper*].

Deux options sont possibles :

- éliminer la zone d'intersection entre le polygone sélectionné et le reste de la couche (valable dans le cas défini dans l'exemple) ou
- éliminer la zone qui n'intersecte pas les deux polygones (utiles si l'on a fait déborder les contours des polygones créés hors de la zone à traiter).



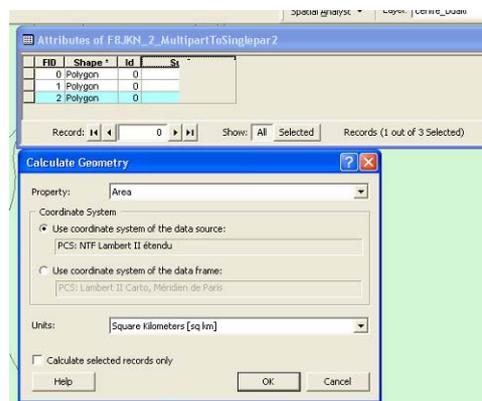
2.5. TERMINER LE DÉCOUPAGE

À l'issue de la fusion de la couche, les polygones de surfaces trop petites et qui ne présentent pas d'intérêts hydrogéologiques peuvent être supprimés.

La surface des polygones se calcule, en dehors du mode d'édition (menu déroulant de gauche sélectionnez [*Stop editing/Quitter la session de mise à jour*]).

Ouvrir la table attributaire de la couche; dans « option » cliquer sur [Add field/ **Ajouter un champ**] et sélectionner le type « float/réel double ».

Une fois le champ créé, cliquer en haut de la colonne, puis sur [Calculate geometry/ **Calculer la géométrie**] et sélectionner « surface ».



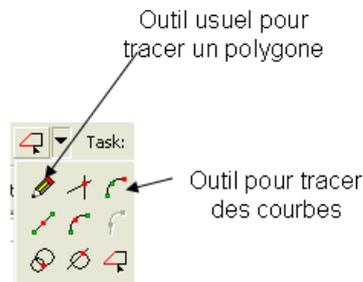
3. Délimitation des parties sous couverture

En profondeur, le choix des limites est souvent plus délicat qu'en surface par manque d'information. Par contre, une fois le choix fait, la délimitation sous ARCGIS est plus facile qu'en surface.

3.1. Tracé manuel

En général, le tracé doit être effectué à la main. Pour obtenir un résultat lisse, utiliser l'outil de tracé des polygones sous forme de courbes

[Arc Tool/**Outil Arc**] :



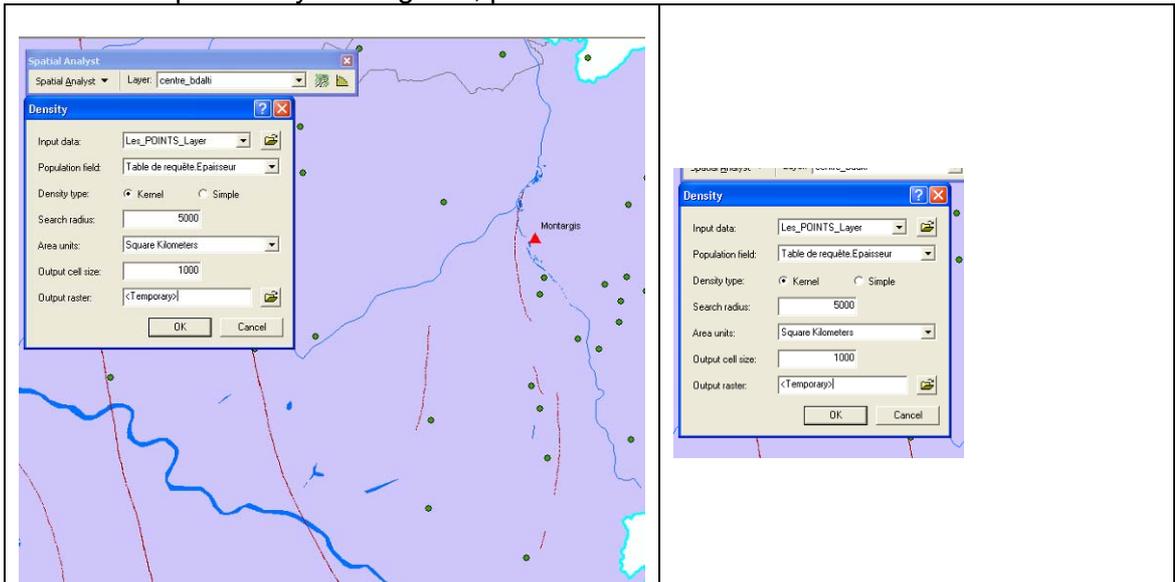
On peut, au cours du tracé, changer d'outil notamment parmi les outils présentés ci-dessus.

Il existe un autre moyen de lissage des contours qui est la fonction [Neighbourhood statistics/**Statistiques de voisinage**] sous [**Spatial Analyst**], (cliquez avec le bouton droit de la souris dans la barre grise du haut d'ARCGIS et cochez Spatial Analyst).

Attention ! Mais cette méthode risque de lisser des zones non souhaitées, le tracé manuel direct à l'aide de polygones reste le meilleur moyen.

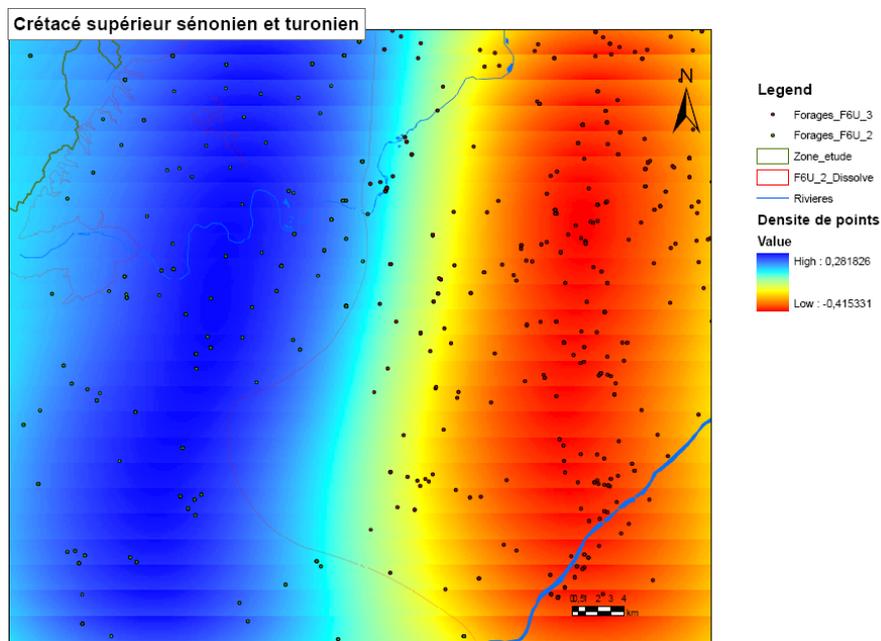
3.2. Tracé à l'aide de densité des forages

Il est possible d'utiliser certaines fonctions de calcul de l'option [*Density/Densité*] dans ARCGIS. Pour cela, on sélectionne les forages correspondant à la formation, tout en évitant ceux qui sont proches de la surface. En effet, la densité de forages augmente en générale lorsque la couche se rapproche de la surface. Une fois les forages sélectionnés, allez dans [*Spatial Analyst*]. Puis cliquer sur [*Density/Densité*]. Sélectionner parmi les couches proposées le fichier des forages. Préciser le rayon de recherche : plus le rayon est grand, plus les courbes seront lissées.



On peut utiliser dans [*population field/champs*] soit le champ du code du niveau ou autres champs, à condition d'avoir partout des valeurs.

Ci-dessous un exemple de résultat :



La densité ne peut généralement être utilisée qu'en appoint. En effet il faudrait un véritable travail d'élimination de forages, probablement également changer le type d'interpolation, pour affiner les courbes. Et, les limites réelles ne sont pas forcément régulières. Ces fonctions sont utiles que dans certains cas.

Annexe 2

Exemple d'un découpage d'entités du « thème Socle » dans le Massif armoricain

1. Données disponibles

BDCarthage (Base de Données sur la CARTographie THématique des AGences de l'eau et du ministère de l'Environnement) sur le bassin Loire-Bretagne. Edition 2008, version du 22/07/2008, téléchargée le 04/09/2008 sur le site du Sandre

Données disponibles : région, secteur, sous-secteur et zone hydrographique (contours), et cours d'eau (linéaire)

Extraction de la Banque HYDRO des stations hydrométriques du Massif Armoricaire (nom, numéro, coordonnées, VCN10, date début et fin, superficie contrôlée) au 27/10/2008 (Quang-Hung NGO DIREN Bassin LB)

Deux cartes géologiques harmonisées : une à l'échelle du département de la Maine-et-Loire (49) et l'autre à l'échelle du département de la Sarthe (72)

Notices des cartes géologiques au 1/50 000 (251-286-287-321-322-356-357-389-390-391-392-421-422-423-424-452-453-454-482-483-484-485-509-510-511-512-537)

Carte géologique synthétique au 1/250 000 (Rabu D., Chantraine J. et Béchenec F., 2001. Carte géologique du Massif Armoricaire à 1/ 250 000. BRGM)

Les polygones des entités hydrogéologiques de la BDRHF V1

Les données de BD_Carthage projetées en Lambert 93 (Systèmes Français RGF93 - Méridien de Greenwich) ont été converties en Lambert II étendu (Systèmes Français - Méridien de Paris).

On rappelle ci-dessous la définition des termes utilisés pour identifier les entités de NV2 :

VCN10 : moyenne des débits les plus bas de l'année sur une période de dix jours consécutifs (méthode de calcul : ajustement à une loi de GALTON et utilisation du VCN10 moyen sur la période de mesure),

QES : débit d'étiage spécifique, égal au rapport « VCN10 / superficie du bassin versant considéré », exprimé en l/s/km².

2. Entités NV1 du socle

Les grands bassins hydrologiques (secteur hydrographique) de BD_Carthage LB:

- la Loire de la Vienne (c) à la Maine (nc)³ : L8 et L9,

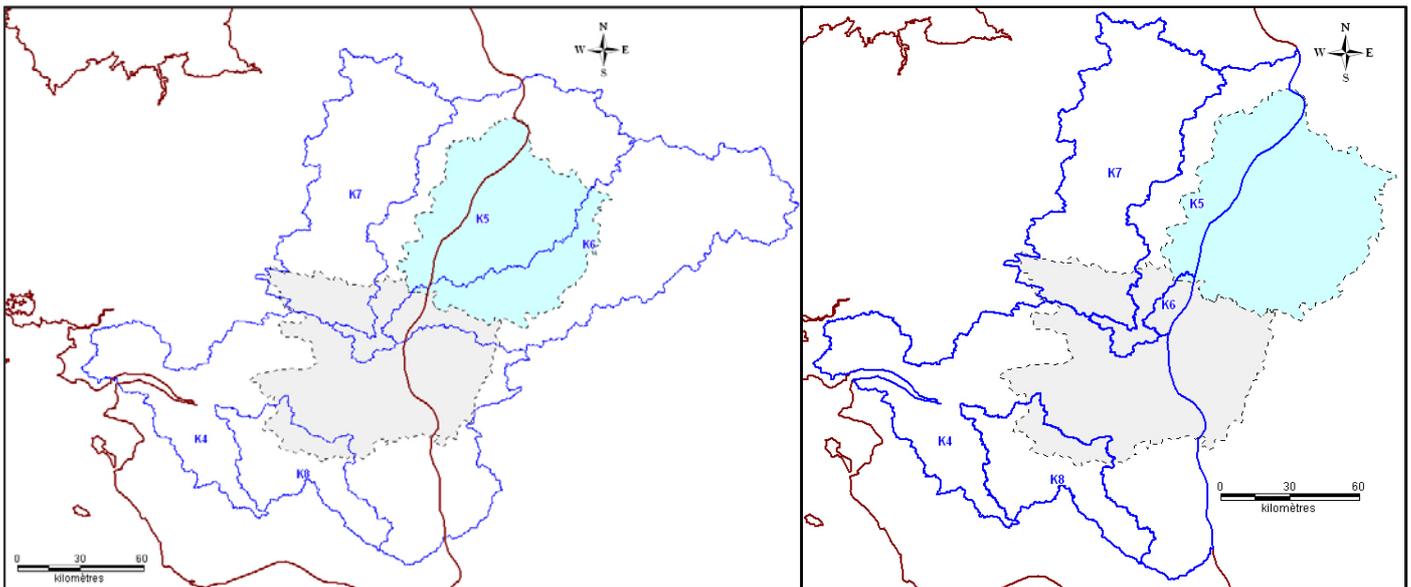
³ nc = non compris et c = compris (notations BD_Carthage)

- la Loire de la Maine (c) à la mer : M0 à M8

ont été sélectionnés. Des regroupements de grands bassins ont été effectués selon des critères de similarité des cours d'eau (Sarthe : M0-2-4 et Loire : L8-9+M5-6-8).

Les cinq entités NV1 de socle ainsi obtenues ont été codifiées et renseignées dans le tableau multi-échelles.

Avant découpage avec la limite du domaine sédimentaire, la superficie des entités de niveau 1 varie de 2 350 à 12 090 km² (superficie de 282 à 8 993 km², après découpage grossier⁴ avec la limite du domaine sédimentaire).



*Illustration A1 - Entités de Socle de niveau NV1.
(avant et après découpage grossier avec la limite des formations sédimentaires)*

3. Entités NV2 du socle

3.1. Définition de bassins NV2 avec BD Carthage

Les sous-bassins hydrologiques situés dans les bassins NV1 (sous-secteur hydrographique BDCarthage) ont été sélectionnés.

Ces sous-bassins ont fait l'objet de regroupements selon des critères de superficie (exemple : la Vaudelle et l'Orthe forment l'entité K5C) et de cours d'eau identique (exemples : Sèvre Nantaise, Loir, Loire, Mayenne, Sarthe).

⁴ Découpage grossier : découpage le long d'une limite socle/sédimentaire digitalisée à partir de la carte géologique à 1/250 000.

Dans les cas où la superficie des bassins versants excédait 200 km², certains affluents des principaux cours d'eau ont été séparés en utilisant les zones hydrographiques BDCarthage (exemples : de l'Ernée pour la Mayenne, et de la Sanguèze pour la Sèvre Nantaise).

Certaines zones hydrographiques ont dû faire l'objet de corrections par digitalisation des contours des bassins versants au niveau des exutoires des affluents (exemples : du Vicoin et de la Colmont pour la Mayenne).

38 bassins NV2 de socle ont ainsi été obtenus (superficie de 87 à 2 165 km²).

3.2. Prise en compte des débits spécifiques

Les *débits d'étiage spécifiques* ont été calculés à partir des VCN10 et des superficies des bassins.

Deux colonnes ont été ajoutées au tableau de codification (QES, station) pour renseigner les valeurs du débit d'étiage spécifique et du nom de la station qui permet ce calcul. Pour ce traitement, les stations hydrométriques sélectionnées sont celles situées le plus à l'aval des cours d'eau, et avec (dans la mesure du possible) au moins 10 années de mesures (illustration A2).

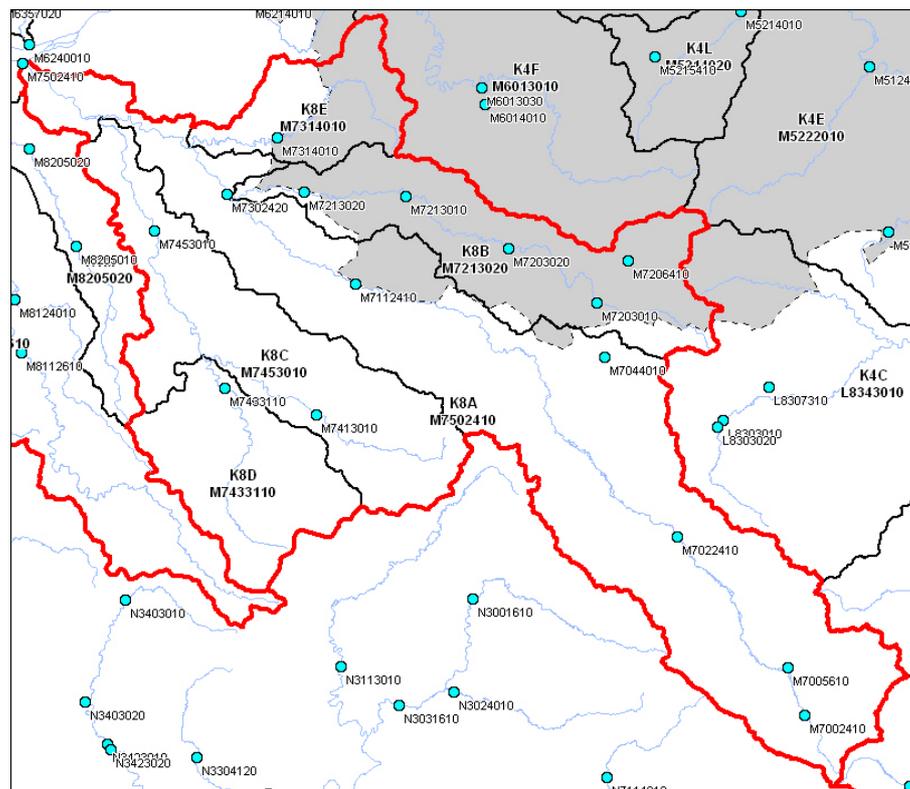


Illustration A2 - Choix des stations hydrométriques avec QES pour affectation aux bassins NV2 (entité NV1 : K8 La Sèvre Nantaise et ses affluents).

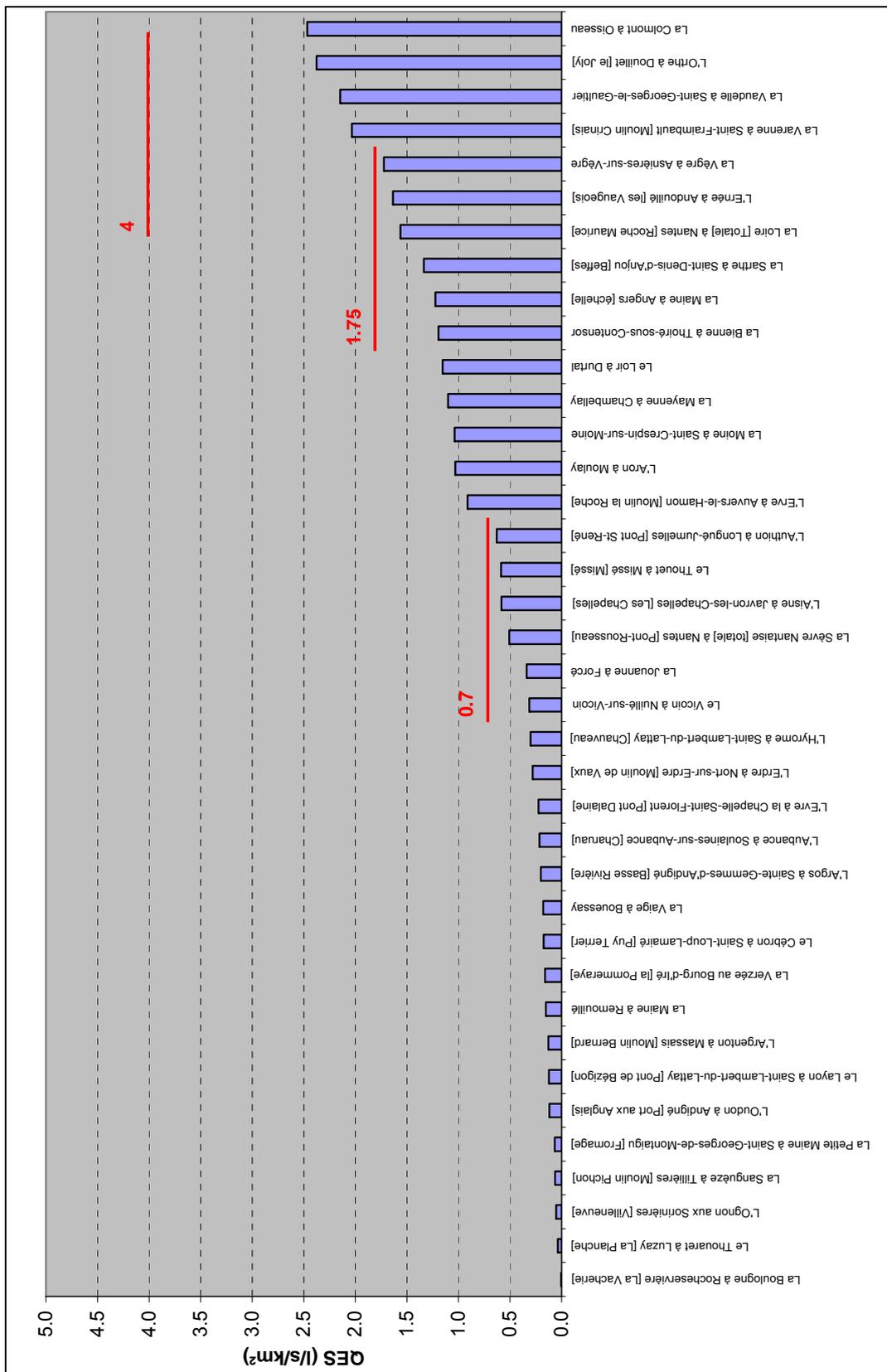


Illustration A3 - Classement des 37 entités en fonction du QES.

Pour la détermination des seuils de QES, l'avis d'expert (J. RAFFY, DIREN Bretagne) a été pris en compte. Celui-ci a jugé de la pertinence des seuils définissant les quatre classes de QES, le premier seuil de QES étant fixé 0.7 l/s/km² pour isoler les bassins schisteux et/ou gréseux.

Un QES a pu être affecté aux 37 (sur 38) bassins NV2 renseignés (illustration A3) : 29 stations situées vers l'exutoire caractérisent correctement les bassins versants, le reste correspondant à des stations situées au milieu du BV).

Les bassins ont ainsi été classés selon 4 classes de QES (<0,7, (0,7-1,75), (1,75-4), >4 l/s/km²).

Les bassins contigus (avec limite géographique en commun) se situant dans la même classe et dans le même bassin NV1 ont été rassemblés.

17 entités NV2 de socle ont ainsi été obtenues (superficie de 87 à 3 858 km², après découpage grossier avec la limite du domaine sédimentaire). Ces entités ont été codifiées et les colonnes « QES » et « station » ont été renseignées (l'entité K4F n'étant pas renseignée par une station, la valeur du QES est mise à -1). Le tableau-multi-échelle a également été complété.

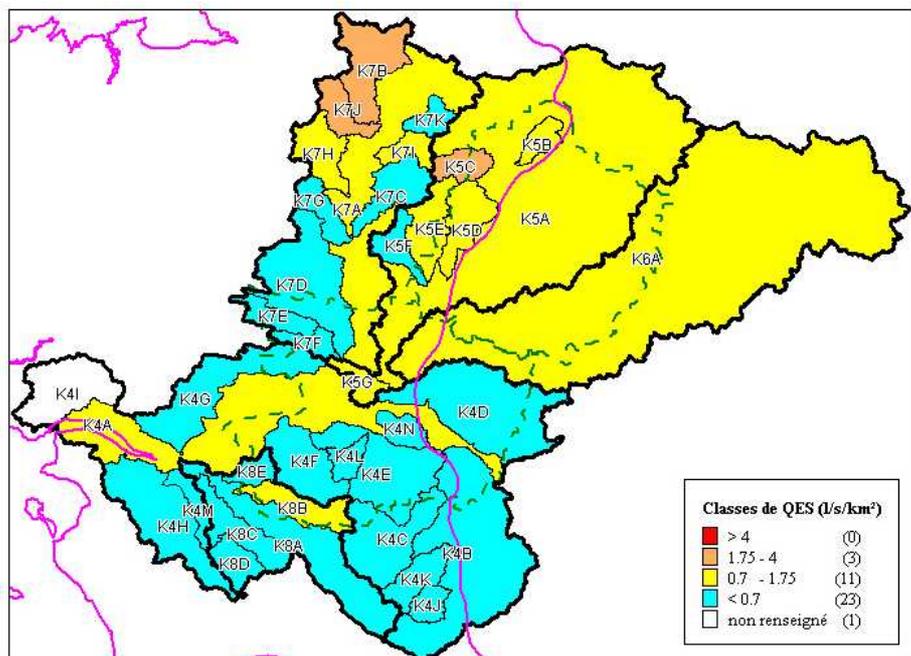


Illustration A4 - Classement des entités selon les valeurs de QES (38 entités NV2 avant assemblage).

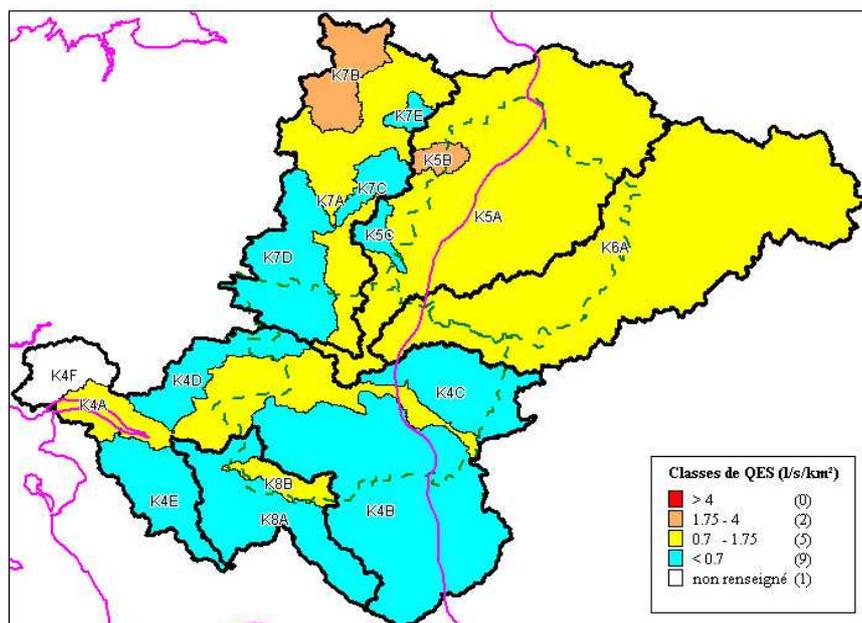


Illustration A5 - Classement des entités selon les valeurs de QES (17 entités NV2 après assemblage).

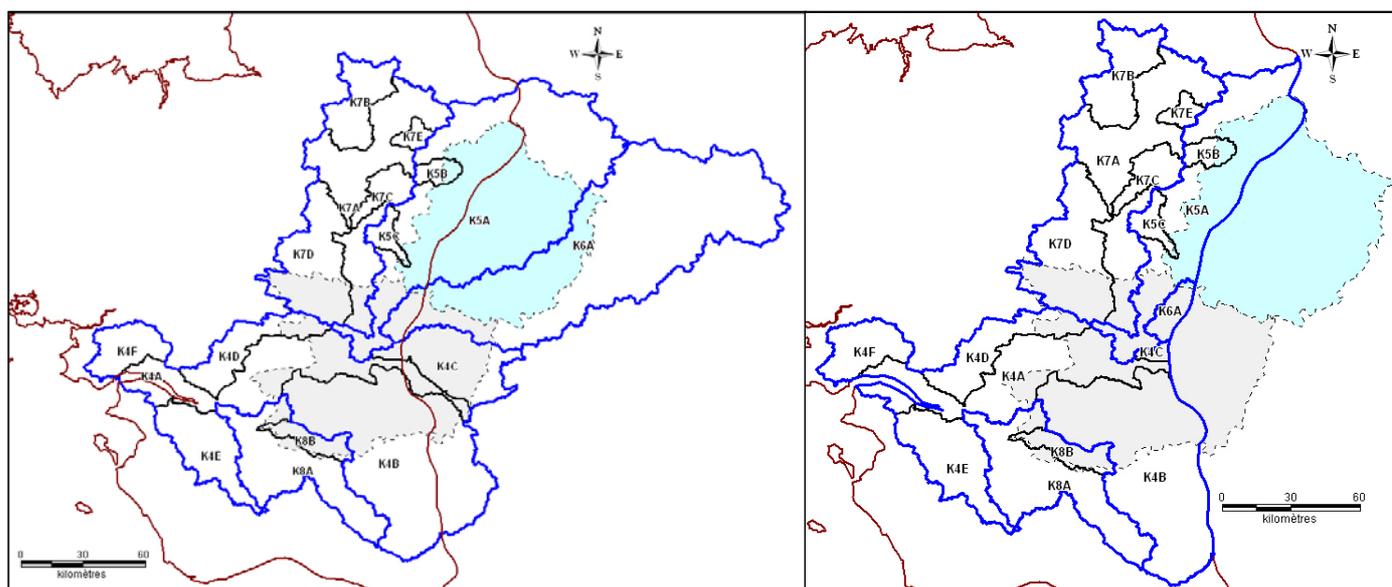


Illustration A6 - Entités de Socle de niveau NV2 (avant et après découpage grossier avec la limite des formations sédimentaires)

Sur ces 17 entités, 12 s'étendent sur les 2 départements du Maine et Loire et de la Sarthe.

4. Entités NV3 du socle

4.1. Préparation des contours au 1/50 000

Seules les 12 entités de NV2 présentes dans les départements 49 et 72 ont été traitées au niveau NV3 (les 5 entités K4E-F et K7B-C-E ne sont donc pas traitées).

Les entités sélectionnées ont été découpées selon les limites des départements du 49 et du 72. Seules ces entités découpées de NV2 sont traitées en entités NV3.

À cette étape, les cartes géologiques harmonisées du Maine-et-Loire et de la Sarthe (contours précis à l'échelle du 1/50 000) et les notices des cartes géologiques au 1/50 000 ont été prises en compte.

Dans chaque carte harmonisée, tous les contours des formations de socle ont été sélectionnés (formations de socle : CODE > 115 pour le 49 et CODE > 204 pour le 72 ; altérites : CODE = 37 à 44 pour le 49 et CODE = 78 pour le 72). Les contours alluviaux et sédimentaires ne sont pas traités.

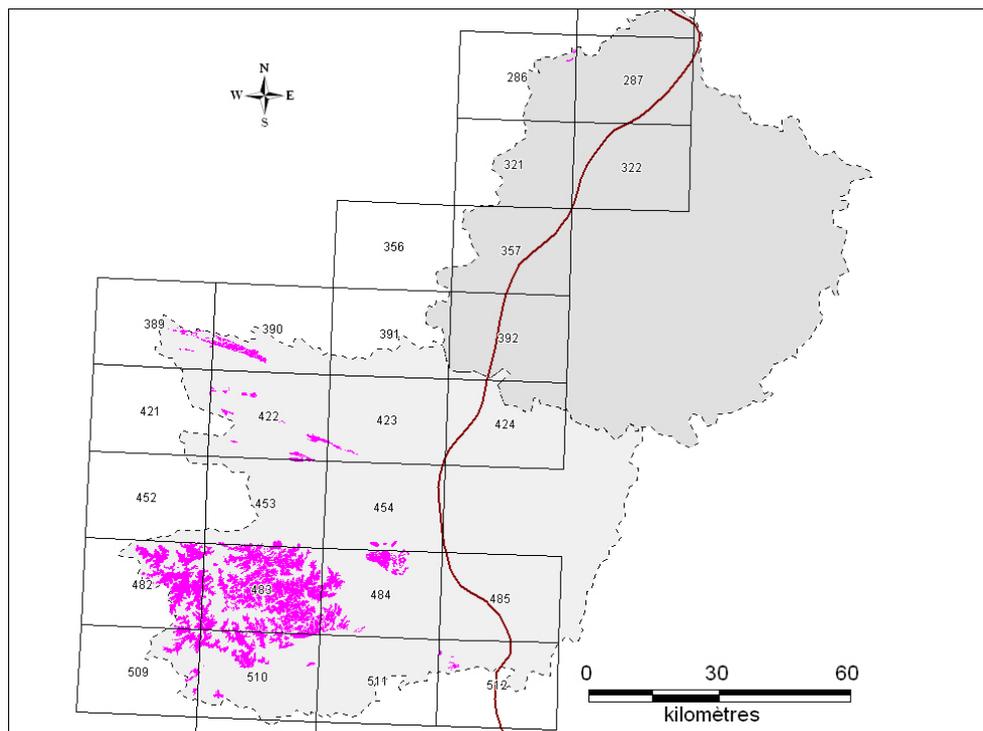


Illustration A7 - Cartographie des altérites sur les départements étudiés.

Au niveau des entités de niveau NV3, un recouvrement peut exister : quand elles existent, les altérites sont situées au-dessus de l'horizon fissuré des roches de socle (ces deux couches sont potentiellement aquifères). Comme les altérites n'ont été levées que sur certaines cartes géologiques et sur la base de connaissances

anciennes hétérogènes, ces formations ne peuvent faire l'objet d'un traitement abouti au niveau NV3. Les placages importants cartographiés sont néanmoins pris en compte dans la partie « sédimentaire » du travail réalisé à ce stade de la BDRHF V2.

Les altérites présentent pourtant un intérêt non négligeable sur le plan hydrogéologique en domaine de socle. L'amélioration de la connaissance de ces formations (levé homogène à l'échelle départemental) permettrait de mettre à jour de la BD RHF V2 mais aussi de mieux appréhender les ressources en eau souterraine de socle.

4.2. Utilisation de la carte géologique synthétique au 1/250 000 et des données de forages pour la caractérisation de la nature aquifère des formations géologiques

70 formations géologiques de socle distinguées sur les départements 49 et 72 ont été sélectionnées.

Ces formations géologiques (champ FORMATION_MASSIF_SERIE) appartiennent à 21 ensembles lithostratigraphiques et tectono-métamorphiques, appelés « Unités ou Batholites » (champ UNITE_BATHOLITE). Ces ensembles sont situés dans 5 segments de croûte terrestre, appelés « Domaines » (champ DOMAINE), qui ont suivi des évolutions paléogéographique et paléotectonique communes. Cet assemblage est visible dans le tableau (ill. A8) ci-après.

Au niveau de la délimitation des entités NV3, les Unités ou Batholites seront considérées comme les entités de base.

Les forages de la Banque du Sous-Sol (BSS) implantés sur la région Pays-de-la-Loire en zone de socle et renseignés par le débit instantané obtenu en fin de foration (4 136 forages) ont été extraits. Ces forages ont été superposés sur les 70 formations géologiques de la carte au 1/250 000.

29 formations ont une superficie suffisante pour être renseignées par au moins 20 forages (1 801 forages sont utilisés).

À l'aide des informations des forages (profondeur et débit instantané de l'ouvrage), des statistiques simples sont établies et chaque formation est caractérisée par un indice global et un indice de productivité (débit instantané par mètre foré).

L'indice global est défini par le produit de deux paramètres :

- pourcentage de forages ayant fourni un débit instantané au moins égal à 10 m³/h (critère considéré comme une image des probabilités de succès) ;
- débit moyen du quartile supérieur (ou moyenne des débits des 25 % « meilleurs forages ») Ce paramètre est représentatif de la perméabilité des axes de drainage souterrain.

Domaines (DOMAINE)	Unités (UNITE_BATHOLITE)	Formations (FORMATION_MASSIF_SERIE)	Codes carte harmonisée	
Domaine cadomien normano-breton (St Malo-Fougères)	sans nom	Massifs de Trégomar, Brée, Ernée et Louzes	329	
	sans nom	Massif d'Alençon	215	
	BATHOLITE MANCELLIEN	Massifs de Vire, Athis, Avranches, la Ferté-Macé	308-309-310-312	
	UNITE DU MAINE	Formation de May		282
		Formation de Sainte-Suzanne		276-279-280-281-285 à 297
		Formation de Voutré		252-254 III
		Formation des Ampérites		304
		Formation des poudingues et arkoses		298-299-300-301-302-303
		Formation des schistes et calcaires		267-270 III
		Formation du Grès armoricain_MAINE		
		Formation du Pissot		
		Formation du Pont-de-Caen		257
		Formations de Blandouët et de Sillé		271-273-274-275
	Formations de Pissot et de May		259 et 260-263-264 III	
	UNITE DE FOUGERES	Formations de Fougères et de Granville		313-316-319 à 325
Formations de Fougères et Granville			315	
Domaine varisque médio-armoricain oriental (Laval)	UNITE DE LAVAL	Formation d'Andouillé	263-264 III	
		Formation de l'Huisserie	224-225-226-228-229	
		Formation de Laval	216-217	
		Formation de Saint-Germain-sur-Ille	260 III	
		Formation des Calcaires de Laval		
		Formation des Calcaires de Sablé	220	
		Formation du Grès armoricain_LAVAL	267-270 III-268	
		Formations de Gahard, Saint Ceneré et Montguyon	235-236-237-238-239	
		Formations de la Lande-Murée et du Val	250-251 et 252-254 III	
		Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes)	UNITE DE BRETAGNE CENTRALE UNITE DU SUD DE RENNES	Formation de la Mayenne
Formation de Pont-Réan	316-318			
Formation de Riadan-Renazé	305-306 / 258 (carte 72)			
Formation de Traveusot	308-309			
Formation du Grès armoricain_SUD_RENNES	310-311-312-313-314-315			
Domaine varisque ligéro-séanais (Quimper-Angers)	UNITE DE SAINT-JULIEN DE YOVANTES	Formations de la Pile et la Boserie		
		Formations d'Erbray, de Vern et d'Angers		
		Formations de Renac et de Bois-Neuf		
	UNITE DES LANDES DE LANVAUX	Formation de Dains-sur-Oust	265-266-267-268-269	
		Formation du Grand Auverné	270-271	
		Formation du Houx	272-273	
	UNITE DE SAINT MARS-LA-JAILLE UNITE DE SAINT-GEORGES-SUR-LOIRE	Formation de Saint-Perreux		
		Formation de Fégréac		
	sans nom	Formation de la Romme		
		Massifs de Bécon et de Saint-Clément	242-243-244	
		Massif de Lanvaux		
	Domaine varisque nantais (Nantes-Cholet)	SILLON HOULLER DE BASSE-LOIRE	Formation de la Minière	
			Formation de la Pierre-Carrée	
			Formation de Montjean-sur-Loire	
			Formation d'Ancenis, faciès "Culm"	
Formation de Châteaupanne				
UNITE DU BASSIN D'ANCENIS		Formation du Tombeau-Leclerc		
		Formation de Beaupréau		
		Massif de Chemillé		
		Formation de Drain		
		Formation des Mauges		
UNITE DES MAUGES		Formation du Hâvre		
		Formation du Landreau		
		Formation du Cellier		
UNITE DE CHAMPTOCEAUX		Formation de Saint-Mars-du-Désert		
		Formation des Folies-Siffait		
		Formation de Champtoceaux		
UNITE DE CHOLET-THOUARS		Formation de Cléré-sur-Layon		
		Massif de Cholet		
		Massif de Thouars		
MASSIFS DU CHOLETAIS		Massif de Coron-Vezins		
		Massif de Moulins-les-Aubiers		
		Massifs de Saint-André et Saint-Christophe		
		Massifs de Saint-Léger et Montfaucon		
		Massifs de Trémentines et la Renaudière		
		Massifs du Pallet et du Châtillonais		
UNITE DE LA TESSOUALLE sans nom	Formation de la Tessouale			
	Massif de Orvault-Mortagne-Châteaumur	132-133-134-135-136		
	Massif de Mortagne			

Illustration A8 - Domaines, Unités et Formations géologiques à 1/250 000. Départements 49 et 72.

Cet indice est fréquemment utilisé pour déterminer l'intérêt hydrogéologique des formations de socle (cf. par exemple le rapport BRGM/RP-55001-FR).

Sur 10 formations d'extension interrégionale (régions Pays-de-la-Loire et Bretagne), les statistiques ont été approfondies grâce à 1 896 forages bretons.

Formation géologique 1:250 000	Lithologie 1:250 000	Statistiques sur la région Pays-de-la-Loire					Statistiques sur les régions Bretagne et Pays-de-la-Loire				
		Nombre de forages	% de forages > 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	Q.P moyen (m3/h.m)	Nombre de forages	% de forages > 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	Q.P moyen (m3/h.m)
Massifs de Vire, Athis, Avranches, la Ferté-Macé,	granodiorites	236	40.3%	35.6	15.6	0.247	394	34.5%	33.5	11.6	0.266
Formation des schistes et calcaires	schistes, grès, calcaires	36	63.9%	72.8	46.5	0.470	-	-	-	-	-
Formations de Fougères et de Granville	schistes, grès, wackes	32	12.5%	11.7	1.5	0.097	295	36.6%	25.1	9.2	0.268
Formations de Fougères et Granville	schistes tachetés, conglomères	126	34.9%	28.3	9.9	0.168	371	44.7%	34.7	15.5	0.221
Formation de l'Ille-et-Vilaine	schistes, grès, wackes	24	37.5%	32.2	12.1	0.161	-	-	-	-	-
Formation de Laval	schistes, grès, charbons	25	56.0%	23.9	9.6	0.166	-	-	-	-	-
Formation de Saint-Germain-sur-Ille	grès à niveaux schisteux	14	-	-	-	-	70	22.9%	24.6	5.6	0.131
Formation des Calcaires de Laval	calcaires récifaux	21	52.4%	113.0	79.2	0.583	-	-	-	-	-
Formation des Calcaires de Sablé	calcaires bioclastiques	21	42.9%	52.7	22.6	0.340	-	-	-	-	-
Formations de Gabard, Saint-Côme et Montguyon	grès, schistes, calcaires	41	31.7%	31.7	10.0	0.174	-	-	-	-	-
Formations de la Lande-Murée et du Val	schistes, amphiolites, quartzites	32	9.4%	10.4	1.6	0.052	-	-	-	-	-
Formation de la Mayenne	schistes, grès, wackes	153	40.5%	35.8	14.5	0.241	932	31.4%	21.2	6.7	0.142
Formation de Trèvesnot	schistes ardennais	10	-	-	-	-	51	21.0%	14.4	3.0	0.102
Formation du Grès armoricain_SUD_RENNES	grès quartzitiques	15	-	-	-	-	238	33.6%	33.0	11.1	0.210
Formation de Bains-sur-Oust	schistes, wackes, arkoses	29	24.1%	22.4	5.4	0.129	-	-	-	-	-
Formation du Grand-Auverné	schistes à bancs gréseux	19	-	-	-	-	90	17.9%	12.7	3.1	0.102
Formation de Saint-Pierreux	micaschistes, quartzites	16	-	-	-	-	40	20.0%	15.8	3.2	0.112
Formation de Fégréac	schistes, grès, tuffites	15	-	-	-	-	21	23.3%	16.4	3.9	0.105
Formation des Manges	métawackes, micaschistes	88	15.9%	13.2	2.1	0.097	-	-	-	-	-
Formation du Havre	micaschistes, paragneiss	64	14.1%	14.3	2.0	0.083	-	-	-	-	-
Formation du Landreau	paragneiss, orthogneiss	36	8.3%	13.2	1.1	0.096	-	-	-	-	-
Formation de Champocéaux	orthogneiss anatexiques	51	11.5%	10.7	1.3	0.071	-	-	-	-	-
Massif de Cholet	laves et tufs rhyodacitiques	65	13.3%	12.8	1.8	0.116	-	-	-	-	-
Massif de Thouars	microgranites, granophyres	28	3.6%	4.2	0.2	0.036	-	-	-	-	-
Massif de Montlus-les-Aubiers	leucogranites	53	1.9%	9.2	0.2	0.065	-	-	-	-	-
Massifs du Pallier et du Châtillonnais	gabbrées, diorites, tonalites	22	18.2%	10.0	1.0	0.084	-	-	-	-	-
Formation de la Tessoude	migmatites paradiabroisées	157	6.4%	12.7	0.8	0.103	-	-	-	-	-
Massif de Orvault-Mortagne-Châteaumur	leucogranites	305	6.2%	9.6	0.6	0.063	-	-	-	-	-
Massif de Mortagne	monzogranites	37	5.4%	18.3	1.6	0.111	-	-	-	-	-

Illustration A9 - Résultats de l'approche statistique.

La nature aquifère (ou pas) des formations a été déterminée en fonction de l'indice global. Le tableau ci-dessous précise les gammes retenues.

	Classes	Indice global	Nature entité
	1	≥ 10	Unité aquifère
	2	7.5 à 10	Unité aquifère
	3	5 à 7.5	Unité semi-perméable
	4	2.5 à 5	Unité semi-perméable
	5	< 2.5	Unité imperméable

Les résultats des formations renseignées par les forages (en bleu dans le tableau des Domaines, Unités et Formations, illustration A10) montrent que :

- le comportement aquifère semble homogène au sein de cinq unités (unités de Fougères, des Mauges, de Cholet-Thouars, et Massifs du Choletais et d'Orvault-Mortagne) ;
- sur trois unités (de Laval, du Sud de Rennes et des Landes de Lanvaux), les différences de comportement amènent à utiliser les formations géologiques comme entités NV3.

Quatre unités sont renseignées par une seule formation. Pour les neuf unités restantes, la nature aquifère (ou pas) est estimée soit à partir de la seule formation renseignant l'Unité (souvent la plus importante en superficie) soit par ressemblance lithologique avec une Unité voisine.

À l'issue de cette étape, 34 entités géologiques à 1/250 000 (18 Unités/Batholites et 16 formations) sont caractérisées par leur nature aquifère (ou pas).

Les résultats obtenus ont été comparés avec plusieurs études bibliographiques (Rapport BRGM 71 SGN 134 BPL, note BRGM SGR/PAL 83-20, Rapport BRGM R39643, Rapport final BRGM/RP-53676-FR et notices des cartes géologiques à 1/50 000).

4.3. Création des entités géologiques à 1/50 000

Le traitement s'appuie jusqu'ici sur des contours géologiques au 1/250 000. En effet, seule cette carte synthétique permet d'avoir des formations géologiques interrégionales au format vecteur et de faire des sélections de forage sous SIG.

Or, les entités hydrogéologiques de niveau NV3 devant être réalisées au 1/50 000, une correspondance entre les cartes géologiques (harmonisées au 1/50 000 et synthétique au 1/250 000) a dû être établie.

Dans la carte harmonisée du Maine-et-Loire, le champ LITHOTEC permet de rassembler les contours en Unités ou Batholites. Ce champ n'existe pas sur la carte harmonisée du 72, il faut donc rechercher un par un les codes associés à chaque Unité ou Batholite. Les formations des Unités de Laval, du Sud de Rennes et des Landes de Lanvaux, sont détaillées en recherchant leurs codes (champ CODE). Les filons et les altérites sont rattachés à chaque entité dans laquelle ils se trouvent.

Pour finir, les entités des deux départements ont été assemblées.

De ce traitement résultent 34 entités géologiques à 1/50 000 (illustration A11).

4.4. Entités NV3 finalisées

Pour cette étape, les 34 entités géologiques à 1/50 000 et les 12 bassins versants issus des entités NV2 (bassins dans les départements 49 et 72) ont été utilisés. Toutes les entités géologiques précédemment définies ont été sélectionnées et découpées selon les limites des bassins établies au niveau NV2. 91 entités NV3 délimitant une formation géologique présente sur un bassin versant ont été obtenues (exemple : K5B1 La Vaudelle et l'Orthe sur Unité de Fougères).

Les éventuelles cohérences avec le découpage BD RHF V1 ont été regardées.

Les entités ont ensuite été codifiées (notamment le champ « nature de l'entité » : unité perméable, semi-perméable ou imperméable) et le tableau multi-échelles renseigné.

De ce traitement résultent 91 entités NV3 de socle (illustrations A12 et A13).

	Lithologie 1:250 000	Statistiques sur la région Pays-de-la-Loire					Statistiques sur les régions Bretagne et Pays-de-la-Loire					
		Nombre de forages	% de forages > 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	QP moyen (m3/h/m)	Nombre de forages	% de forages > 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	QP moyen (m3/h/m)	
Formation géologique 1:250 000												
Massifs de Vire, Athis, Avranches, la Ferté-Macé,	granodiorites	236	40.3%	38.6	15.6	0.247	394	34.5%	33.5	11.6	0.206	
Formation des schistes et calcaires	schistes, grès, calcaires	36	63.9%	72.8	46.5	0.470	-	-	-	-	-	
Formations de Fongères et de Granville	schistes, grès, wackes	32	12.5%	11.7	1.5	0.097	295	36.6%	25.1	9.2	0.208	
Formations de Fongères et Granville	schistes fuchetés, conglomères	126	34.9%	28.3	9.9	0.168	371	44.7%	34.7	15.5	0.221	
Formation de l'Hisserie	schistes, grès, wackes	24	37.5%	32.2	12.1	0.161	-	-	-	-	-	
Formation de Laval	schistes, grès, charbons	25	36.0%	23.9	8.6	0.166	-	-	-	-	-	
Formation de Saint-Germain-sur-Ille	grès à niveaux schisteux	14	-	-	-	-	70	22.9%	24.6	5.6	0.131	
Formation des Calcaires de Laval	calcaires récifaux	21	52.4%	113.0	59.2	0.583	-	-	-	-	-	
Formation des Calcaires de Sablé	calcaires bioclastiques	21	42.9%	52.7	22.6	0.340	-	-	-	-	-	
Formations de Gahard, Saint Cénéret et Montguyon	grès, schistes, calcaires	41	31.7%	31.7	10.0	0.174	-	-	-	-	-	
Formations de la Lande-Murée et du Val	schistes, ampolites, quartzites	32	9.4%	10.4	1.0	0.052	-	-	-	-	-	
Formation de la Mayenne	schistes, grès, wackes	153	40.5%	35.8	14.5	0.241	932	31.4%	21.2	6.7	0.142	
Formation de Travenot	schistes ardoisiers	10	-	-	-	-	81	21.0%	14.4	3.0	0.102	
Formation du Grès armoricain, SUD, RENNES	grès quartzitiques	15	-	-	-	-	238	33.6%	33.0	11.1	0.210	
Formation de Bains-sur-Oust	schistes, wackes, arkoses	29	24.1%	22.4	5.4	0.129	-	-	-	-	-	
Formation du Grand Avenné	schistes à bancs gréseux	19	-	-	-	-	90	17.8%	12.7	2.3	0.102	
Formation de Saint-Pierreux	micaschistes, quartzites	16	-	-	-	-	40	20.0%	15.8	3.2	0.112	
Formation de Fgréac	schistes, grès, tuffites	15	-	-	-	-	21	23.8%	16.4	3.9	0.105	
Formation des Manges	métawackes, micaschistes	88	15.9%	13.2	2.1	0.097	-	-	-	-	-	
Formation du Havre	micaschistes, paragneiss	64	14.1%	14.3	2.0	0.083	-	-	-	-	-	
Formation du Landreau	paragneiss, orthogneiss	36	8.3%	13.2	1.1	0.096	-	-	-	-	-	
Formation de Champloceux	orthogneiss maectiques	51	11.8%	10.7	1.3	0.071	-	-	-	-	-	
Massif de Cholet	laves et tufs rhyodacitiques	65	13.8%	12.8	1.8	0.116	-	-	-	-	-	
Massif de Thouars	microgranites, granophyres	28	3.6%	4.2	0.2	0.036	-	-	-	-	-	
Massif de Moulins-les-Aubiers	leucogranites	53	1.9%	9.2	0.2	0.065	-	-	-	-	-	
Massifs du Pallat et du Châtillonais	gabbros, diorites, tonalites	22	18.2%	10.0	1.8	0.084	-	-	-	-	-	
Formation de la Tressnaie	migmatites paradiérisées	187	6.4%	12.7	0.8	0.103	-	-	-	-	-	
Massif de Orvaule-Montagne-Châteauneuf	leucogranites	305	6.2%	9.6	0.6	0.063	-	-	-	-	-	
Massif de Montagne	monzogranites	37	5.4%	18.3	1.0	0.111	-	-	-	-	-	

Illustration A10 - Résultats de l'approche statistique

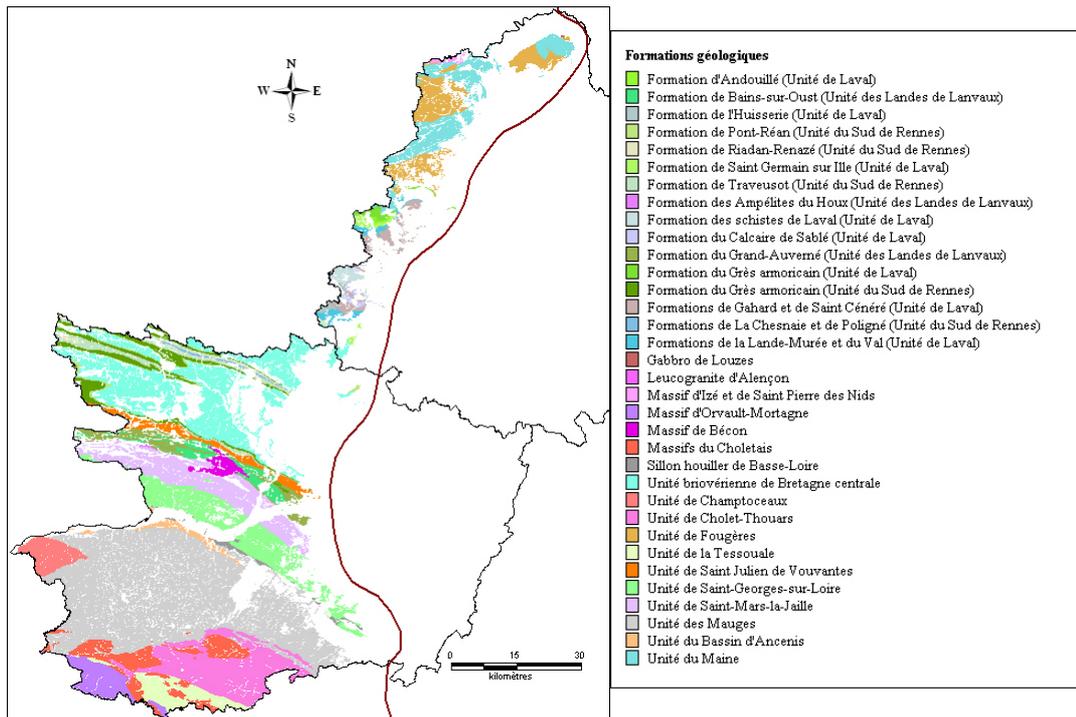


Illustration A11 - Entités géologiques sur les départements 49 et 72.

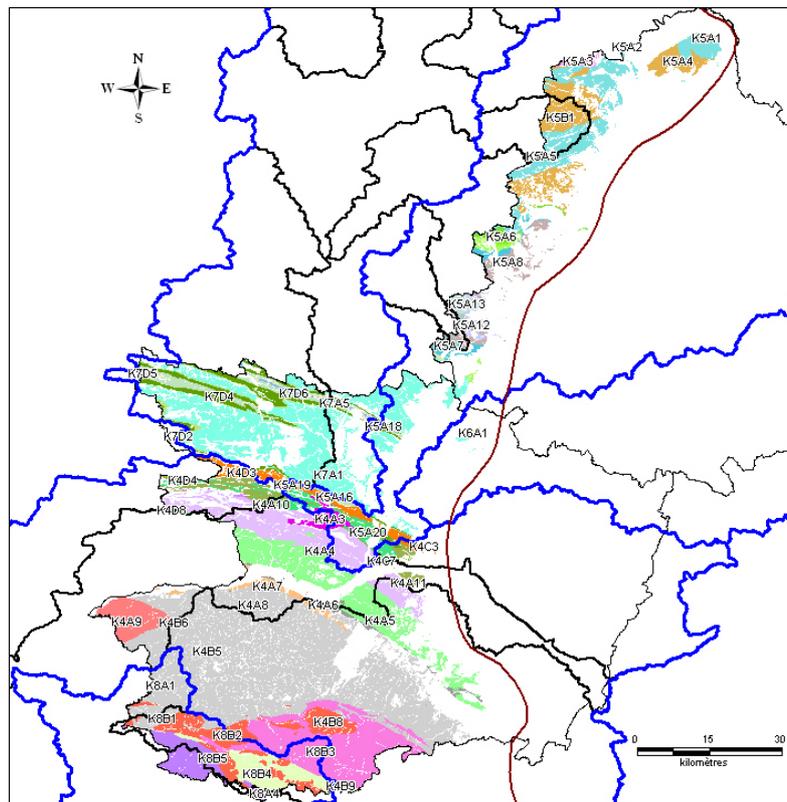


Illustration A12 - Entités de Socle de niveau NV3, départements 49 et 72.

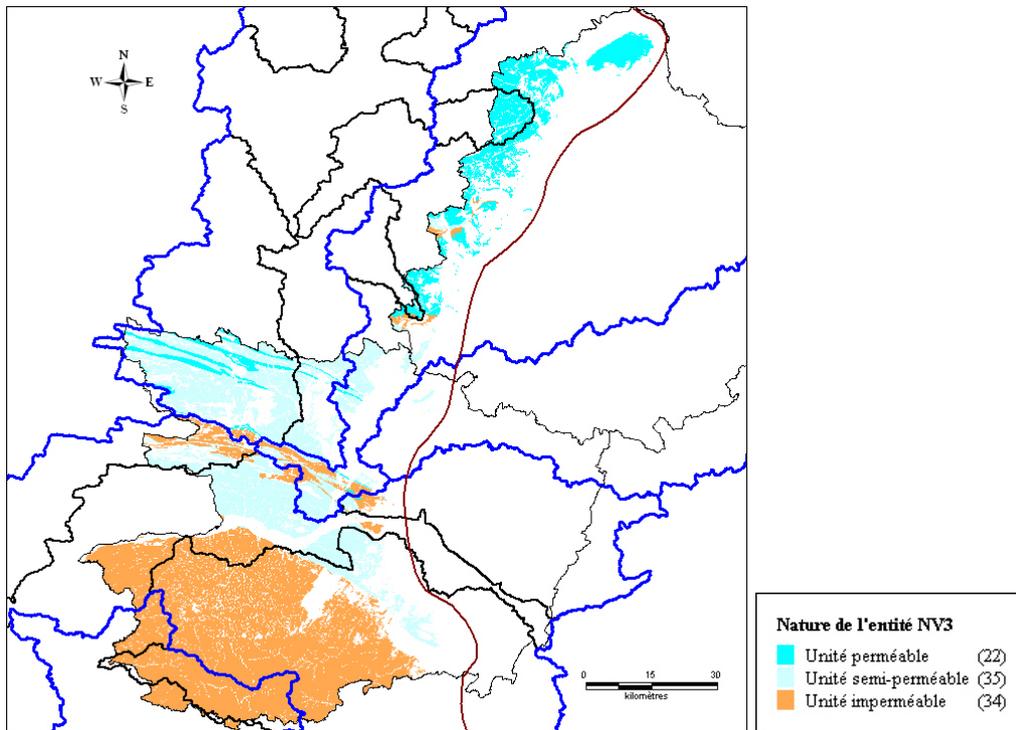


Illustration A13 - Cartographie de la nature des entités de Socle de niveau NV3, départements 49 et 72.

Onema
Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar

94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

BRGM
DRP/RIC
3 avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2
02 38 64 34 34
www.brgm.fr



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