

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

Septembre 2010

BRGM/RP-58090-FR

Septembre 2010



Ministère
de l'Écologie,
de l'Énergie,
du Développement
durable
et de la Mer



Établissement public du ministère
chargé du développement durable

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

Septembre 2010

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

C. Lamotte
avec la collaboration de **D. Allier** et **D. Xu**



Vérificateur :

Nom : D. Allier

Date : 7 Octobre 2010

Approbateur :

Nom : J.J. Seguin

Date : 7 Octobre 2010

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : Référentiel hydrogéologique, système aquifère, domaine hydrogéologique, formations sédimentaires, socle, karst, Lozère.

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

Lamotte C., Allier D., 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

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la construction de la version 2 du Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA (anciennement BDRHF-V2). Elle concerne la région Limousin soit les départements de la Haute-Vienne, de la Creuse et de la Corrèze situés dans les bassins Loire-Bretagne et Adour-Garonne.

La carte géologique harmonisée de la Lozère (échelle du 1/50 000), les logs validés de forages et différentes références hydrogéologiques ont permis d'identifier et de délimiter :

- **43 unités de niveau local (NV3)** dont 24 limitées au Languedoc-Roussillon, 12 en commun avec la région Midi-Pyrénées, et 7 avec l'Auvergne. Ces entités ont été délimitées en domaine de socle (23), dans les formations sédimentaires (18) et dans les formations volcaniques (2).
- **20 systèmes ou domaines du niveau régional (NV2)** dont une entité limitée au Languedoc-Roussillon, les 19 autres entités étant partagées avec les régions Midi-Pyrénées et Auvergne ; 12 sont en domaine de socle, 7 dans le sédimentaire et 1 entité correspond aux formations volcaniques.
- **13 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1)** tous communs avec les régions Midi-Pyrénées et Auvergne.

A ces entités, s'ajoutent un ensemble d'entités "complémentaires" constituant une "surcouche" du référentiel et correspondant d'une part aux systèmes alluvionnaires et d'autre part aux formations karstiques.

Une géodatabase sous ArcGis (actuellement version 9.31) rassemblant toutes ces entités, leurs limites et les informations associées a été constituée (fournie dans le cdrom joint à ce rapport). Elle est exploitable via un menu général permettant d'effectuer de nombreuses requêtes sur les entités (par niveau, par thème, ...). Des fiches permettant d'analyser les "relations" de chaque entité avec ces voisines et de vérifier ainsi la cohérence de l'assemblage 3D du référentiel ont été éditées (intégrées aussi au cdrom).

...

Sommaire

1. Introduction.....	6
2. Caractéristiques du référentiel BDLISA et méthodologie de découpage des entités	10
2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION.....	10
2.1.1. Les "thèmes" du référentiel	10
2.1.2. Les différents types d'entités hydrogéologiques.....	10
2.1.3. Les niveaux d'identification	12
2.1.4. Codification et dénomination des entités	12
2.2. LE MODÈLE DE REPRÉSENTATION DES ENTITÉS.....	13
2.2.1. Principes sous-jacents.....	13
2.2.2. Organisation des entités en 2 ensembles	13
2.2.3. Ordre absolu et ordre relatif.....	14
2.3. PRINCIPES ET DÉMARCHE DE DÉLIMITATION	14
2.3.1. Principes de base du découpage	14
2.3.2. Démarche générale	16
2.3.3. Restitution par le modèle de gestion des 3 niveaux de découpage	17
2.3.4. Vérification de la topologie	18
2.4. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS ET DES LIMITES	19
2.4.1. Caractérisation des entités	19
2.4.2. Caractérisation des limites	19
3. Mise en œuvre du découpage des entités	21
3.1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE	21
3.2. ÉLABORATION DES TABLEAUX MULTI-ECHELLES	21
3.2.1. Formations sédimentaires	21
3.2.2. Formations de socle et formations volcaniques	22
3.3. DÉMARCHE DE DÉCOUPAGE	22
3.3.1. Formations sédimentaires	22
3.3.2. Formations karstiques	23
3.3.3. Formations du socle	23
3.3.4. Alluvions et secteurs karstiques	25
3.4. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS DU THÈME SÉDIMENTAIRE.....	28
3.4.1. Formations du Primaire (Permien)	28

3.4.2. Formations du Trias	28
3.4.3. Formations du Jurassique.....	29
3.4.4. Formations tertiaires	32
3.4.5. Formations superficielles du Quaternaire	33
3.5. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS EN ZONE DE SOCLE.....	33
3.6. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS EN ZONE VOLCANIQUE	36
4. Résultats : géodatabase et fiches d'analyse	37
4.1. GÉODATABASE	37
4.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS.....	42
5. Conclusion.....	45
6. Références bibliographiques	47

Liste des illustrations

Illustration 1 - Progression du référentiel sur le territoire métropolitain et dans les DOM.....	7
Illustration 2 – Zone d'étude, partagée entre le bassin Loire-Bretagne et le bassin Adour-Garonne	9
Illustration 3 –Types d'entités hydrogéologiques.....	10
Illustration 4 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités	15
Illustration 5 - Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture.....	17
Illustration 6 – Construction d'une entité NV2 à partir des entités NV3	17
Illustration 7 - Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage	18
Illustration 8 - Nature des contacts entre entités et limites hydrogéologiques correspondantes	20
Illustration 9 – Exemple de correspondance entre formations de la carte géologique harmonisée et entités hydrogéologiques.....	22
Illustration 10 – Représentation de la sur-couche des alluvions récentes de la zone d'étude	26
Illustration 11 – Entités karstiques de Sauveterre	27
Illustration 12 – Entité de niveau NV3 (364A01) correspondant aux formations primaires.....	28
Illustration 13 – Entité de niveau NV3 des formations du Trias	29
Illustration 14 : Systèmes aquifères des calcaires du Lias inférieur.....	31
Illustration 15 - Systèmes aquifères des calcaires du Dogger et Malm	31

Illustration 16 – Entité NV3 de l'Oligocène.....	32
Illustration 17 – Entité NV3 des formations morainiques quaternaires.....	33
Illustration 18 – Entités NV3 des formations de socle	34
Illustration 19 – Entités NV3 des formations volcaniques.....	36
Illustration 20 – Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap	37
Illustration 21 – Tables non géométriques de la géodatabase	38
Illustration 22 – Menu général de la géodatabase.....	38
Illustration 23 - Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général	39
Illustration 24 - Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs).....	40
Illustration 25 – Exemple de sélection: entités de niveau 3 et d'ordre 1.....	40
Illustration 26 - Table des limites et des contacts entre entités	41
Illustration 27 – Editeur de cartes du modèle de gestion du référentiel.....	42
Illustration 28 – Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche).....	43
Illustration 29 – Exemple de fiche descriptive (partie droite) d'une entité (entité 358A01).....	44

Liste des annexes

Annexe 1 - Tableaux multi-échelles du thème "Sédimentaire" et du thème "Volcanisme"	49
Annexe 2- Tableau multi-échelles du thème "Socle"	57
Annexe 3 - Caractérisation lithologique des entités de socle.....	63
Annexe 4 - Méthodologie de délimitation des entités hydrogéologiques en domaine de socle	69
Annexe 5 - Lexique de caractérisation des entités et des limites.....	87
Annexe 6 - Le modèle de gestion du référentiel et de la géodatabase des entités.....	91

1. Introduction

Ce travail s'inscrit dans le projet national de construction de la deuxième version du Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA (anciennement appelé BDRHF-V2).

Le projet a été confié en 2006 au BRGM par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer. L'opération bénéficie d'un soutien financier des Agences de l'Eau, de l'ONEMA (2008-2009) et, antérieurement à 2008, du MEEDDM. Il est mené sous la direction d'un comité de pilotage, dont le secrétariat est assuré par la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du MEEDDM.

La construction du référentiel a été planifiée sur 4 ans (illustration 1) : elle a débuté en 2006 (2006-2007 est l'année 1 du projet, 2009-2010 est l'année 4). Une année 5 est prévue pour réaliser une harmonisation, au niveau national, de l'ensemble des découpages régionaux.

Un premier travail de type méthodologique (phase 1 de la construction), 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, indicatif, des entités identifiées ;
- de mettre au point une méthodologie de découpage sur la base de 6 tests réalisés sur le territoire de chacune des Agences de l'Eau ; d'élaborer un modèle conceptuel de données pour l'élaboration de la future base de données du Référentiel.

Les documents produits à l'issue de cette première phase sont listés en bibliographie.

Caractéristiques de la version 2 du Référentiel BDLISA

Cette deuxième version du référentiel hydrogéologique doit remédier à certaines insuffisances de la version 1, en particulier :

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

Elle tient compte aussi de l'évolution des connaissances géologiques et hydrogéologiques et s'appuie sur les cartes géologiques harmonisées à l'échelle du 1/50 000.

Cette version prévoit un découpage du territoire national en entités hydrogéologiques (formations géologiques aquifères ou non) délimitées à 3 niveaux de détail - national (niveau 1), régional (niveau 2) et local (niveau 3) - suivant des règles élaborées dans le cadre d'une méthodologie nationale.

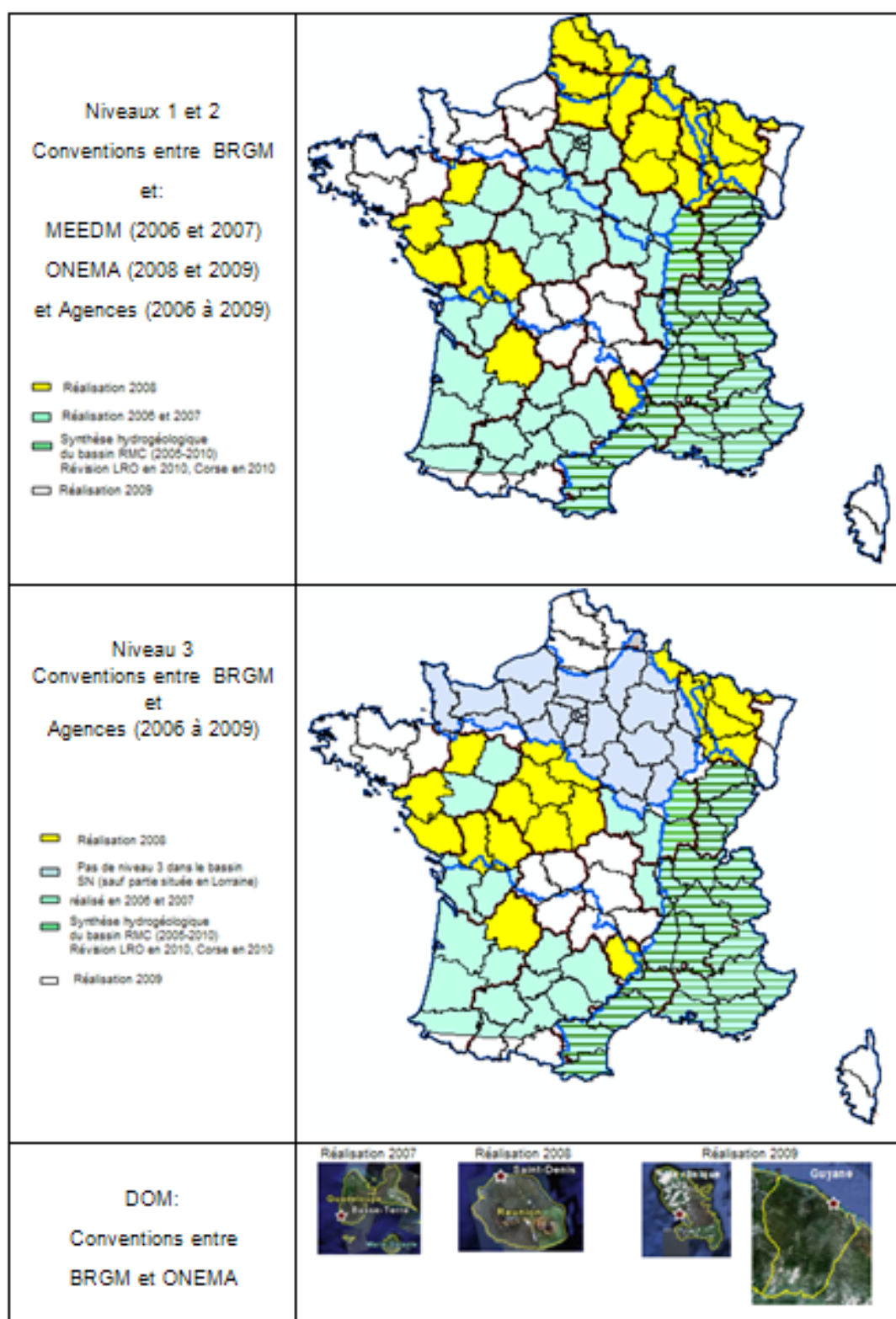


Illustration 1 - Progression du référentiel sur le territoire métropolitain et dans les DOM

Les entités hydrogéologiques sont rattachées à 5 "thèmes" correspondant à 5 grands types de formations géologiques :

- le sédimentaire (Bassin aquitain, Bassin parisien,...),
- le socle (Massif armoricain, Massif central,...),
- l'alluvial,
- le volcanisme,
- les formations intensément plissées (massifs montagneux).

Le référentiel se présentera sous la forme d'un Système d'Information Géographique (SIG) dont la base de données contiendra des informations permettant de caractériser les entités hydrogéologiques.

Département de la Lozère

La délimitation des entités hydrogéologiques concerne le département de la Lozère, qui s'étend en grande partie dans le bassin Adour-Garonne et se prolonge au Nord-Est et à l'Est dans les bassins Loire Bretagne et Rhône-Méditerranée (illustration 2). Les secteurs Nord et Est du département correspondent à une zone de socle, tandis que le quart sud-ouest est occupé par des formations sédimentaires du Jurassique.

La partie située dans le bassin Rhône Méditerranée a été traitée lors de la synthèse hydrogéologique terminée en 2005, mais ce découpage a été actualisé en fonction de la méthodologie BD-LISA. Pour des raisons de continuité des entités, la délimitation s'est aussi poursuivie dans la partie du département située dans le bassin Loire-Bretagne.

La construction du référentiel en Lozère (année 3 du projet national) s'inscrit dans le cadre de conventions entre le BRGM et l'ONEMA d'une part (niveaux 1 et 2) et entre le BRGM et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne d'autre part (niveaux 1, 2 et 3). Le projet a reçu un soutien financier de l'ONEMA et de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

...

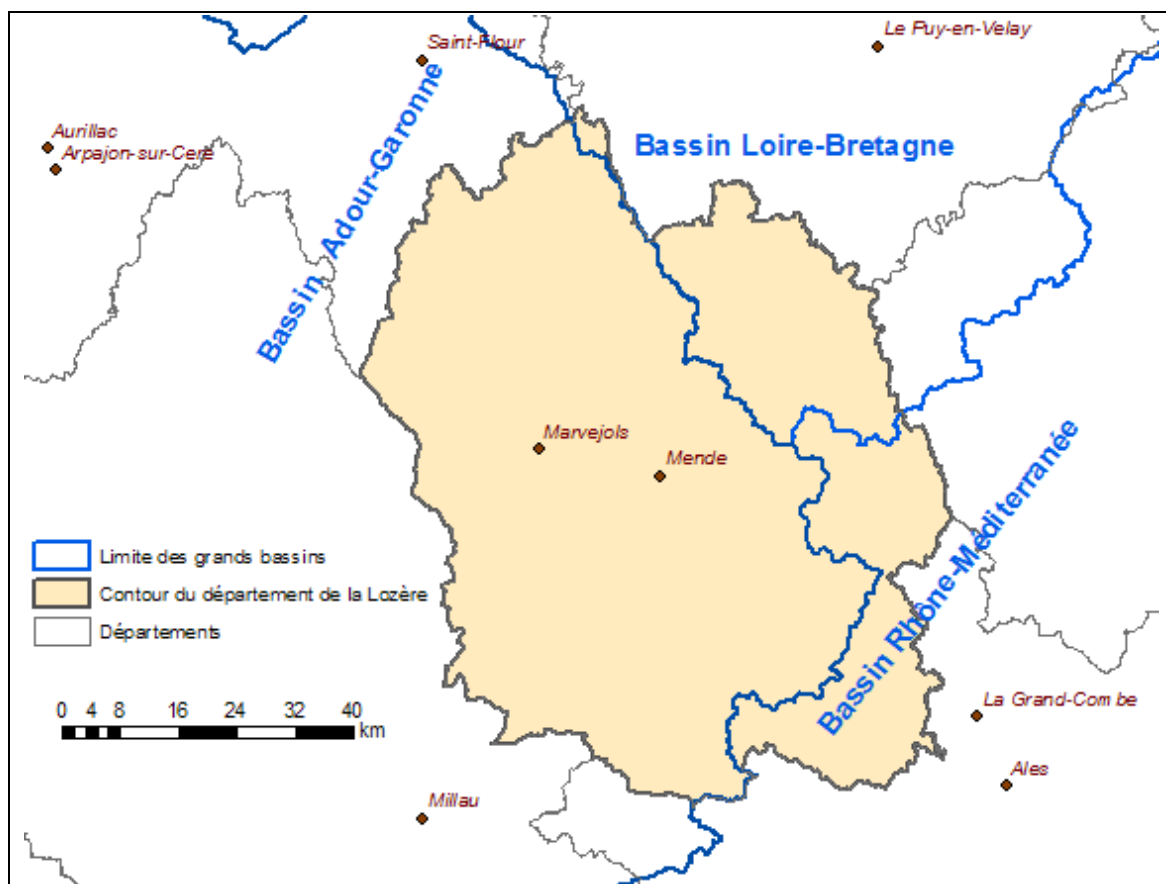


Illustration 2 – Zone d'étude, partagée entre le bassin Loire-Bretagne et le bassin Adour-Garonne

2. Caractéristiques du référentiel BDLISA et méthodologie de découpage des entités

La délimitation des entités hydrogéologiques respecte les grandes lignes de la méthodologie détaillée dans le guide méthodologique national (rapport BRGM RP-52264-FR, 2004) ; elle a fait l'objet d'adaptations pour tenir compte :

- de contextes particuliers non abordés dans le guide méthodologique,
- d'une conceptualisation plus poussée nécessitée par la mise au point d'un modèle de gestion du référentiel (décrit en annexe 6), actuellement supporté par le logiciel ArcGis (version 9.31)

Ces adaptations ont été soumises au Comité de pilotage du projet et seront mentionnées dans une version actualisée du guide méthodologique (à paraître en 2010).

Dans ce chapitre on rappelle succinctement les définitions et les points importants de la méthodologie nationale.

2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION

2.1.1. Les "thèmes" du référentiel

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

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

2.1.2. Les différents types d'entités hydrogéologiques

Une entité hydrogéologique est une partie de l'espace géologique délimitée en fonction de ses potentialités aquifères. Suivant l'échelle d'identification de l'entité (niveau national, régional ou local) et selon que l'entité est aquifère ou peu aquifère, le guide méthodologique établit la classification suivante :

	Aquifère		Peu ou pas aquifère
Niveau National (NV1)	Grand Système Aquifère (GSA)		Grand Domaine Hydrogéologique (GDH)
Niveau Régional (NV2)	Système Aquifère (SA)		Domaine Hydrogéologique (DH)
Niveau Local (NV3)	Unité aquifère (UA)	Unité semi-perméable (USP)	Unité imperméable (UI)

Illustration 3 – Types d'entités hydrogéologiques

- **Le grand système aquifère (NV1)**

Le grand système aquifère est un système physique composé d'un ou plusieurs systèmes aquifères et circonscrit par des limites litho-stratigraphiques et/ou structurales.

- **Le grand domaine hydrogéologique (NV1)**

Le grand domaine hydrogéologique est un système physique peu ou pas aquifère. Il peut contenir des formations aquifères mais sans grande extension latérale et isolées dans la formation peu perméable.

- **Le système aquifère (NV2)**

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 l'un au moins des critères suivants : lithologique, structural, stratigraphique, piézométrique, géochimique, hydraulique.

- **Le domaine hydrogéologique (NV2)**

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 l'un au moins des critères suivants : lithologique, structural, stratigraphique, piézométrique, géochimique, hydraulique.

- **L'unité aquifère (NV3)**

L'unité aquifère est un système physique élémentaire présentant des conditions hydrodynamiques homogènes, suffisamment conductrices pour permettre la circulation d'eaux souterraines. Il s'agit alors d'une entité hydrogéologique de niveau local présentant une perméabilité moyenne supérieure à 10^{-6} m/s et contenant des ressources en eau suffisantes pour être exploitées.

Cette unité intègre trois grands groupes bien distincts dans leur fonctionnement hydrodynamique :

- les aquifères capacitifs et perméables, constituant de bons réservoirs aisément exploitables ;
- les aquifères capacitifs mais peu perméables, constituant des réservoirs à stock d'eau important mais difficilement exploitables (par exemple la craie peu fissurée)
- les aquifères peu capacitifs et à forte perméabilité : il s'agit surtout des calcaires au niveau des fractures, où des pompages à fort débit peuvent être possible localement et périodiquement.

- **L'unité semi-perméable (NV3)**

Une unité semi-perméable est une entité hydrogéologique de niveau local présentant une perméabilité moyenne comprise entre 10^{-9} m/s et 10^{-6} m/s et/ou contenant des ressources en eau mais de productivité insuffisante pour être exploitées.

- **L'unité imperméable (NV3)**

L'unité imperméable est une formation géologique à très faibles circulations d'eau. Sa perméabilité est considérée comme inférieure à 10^{-9} m/s.

2.1.3. Les niveaux d'identification

Trois niveaux d'identification des entités hydrogéologiques ont été retenus dans ce nouveau référentiel. 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, qui est le 1/50 000) mais correspondent à des échelles d'utilisation et de représentation de l'information (Ils correspondent aussi à des échelles de visualisation cartographiques différentes). Sont ainsi distingués :

- le **niveau national (NV1)** fournit une représentation nationale des grands ensembles hydrogéologiques (systèmes et domaines). Il met en évidence leur distribution spatiale et leur 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)** permet une représentation régionale ou par bassin des entités hydrogéologiques (système et domaine) à une échelle de l'ordre du 1/250 000. Il doit permettre une qualification des 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, en s'appuyant sur les deux niveaux précédents et en les complétant, dans certaines zones, par l'identification des unités aquifères locales. Il constitue le support d'études ponctuelles permettant d'améliorer les connaissances hydrogéologiques (carte piézométrique, modélisation,...).

2.1.4. Codification et dénomination des entités

Un code national a été affecté à chaque entité. Il est construit avec :

- un champ de 3 chiffres pour une entité de niveau national,
- une lettre pour désigner une entité de niveau régional contenue dans une entité de niveau national,
- un champ de 2 chiffres pour désigner une entité de niveau local contenue dans une entité de niveau régional.

Par exemple :

- **098** (entité de niveau national),
- **098A** (entité de niveau régional),
- **098A01, 118C03** (entité de niveau local)

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: *Calcaires oxfordiens du Bassin parisien*.

Dans cette phase de construction du référentiel, codification et dénomination des entités sont encore provisoires.

2.2. LE MODÈLE DE REPRÉSENTATION DES ENTITÉS

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.

2.2.1. 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 (annexe 6). 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 5 principes suivants.

1) Organisation des entités en "Entités principales" et "Entités complémentaires"

Ces deux ensembles d'entités sont structurés suivant les 3 niveaux de découpage du référentiel : NV1, NV2 et NV3

Les "*Entités principales*" font l'objet d'un traitement topologique qui garantit la cohérence de leur assemblage 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,
- aires karstifiées délimitées par des traçages,

2) **Ordonnancement 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 (§ 2.2.3 et illustration 4 ci-après).

3) **Complétude** : couverture totale de l'espace aux niveaux 1 et 2.

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

2.2.2. Organisation des entités en 2 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 :

- systèmes alluvionnaires (transverses par rapport aux entités principales)
- formations superficielles, hétérogènes et morcelées, peu épaisses et/ou de faible extension spatiale, qui sont relativement indépendantes, hydrodynamiquement, des formations sous-jacentes.
- altérites cartographiées des zones de socle,
- aires karstifiées délimitées par des tracés,

Ces entités peuvent se superposer aux 3 niveaux de 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.

2.2.3. Ordre absolu et ordre relatif

Dans le tableau multi-échelles, 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 (illustration 4b).

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.

2.3. PRINCIPES ET DÉMARCHE DE DÉLIMITATION

2.3.1. Principes de base du découpage

Conformément au guide méthodologique, **l'échelle de travail adoptée pour le découpage des entités est le 1/50000, et ceci quel que soit le niveau d'identification (du local au national)**. Par conséquent, les contours des entités des niveaux 1 et 2 ont la même précision que ceux du niveau 3, à savoir le 1/50 000 (qui est la précision des contours des formations géologiques des cartes géologiques à 1/50 000).

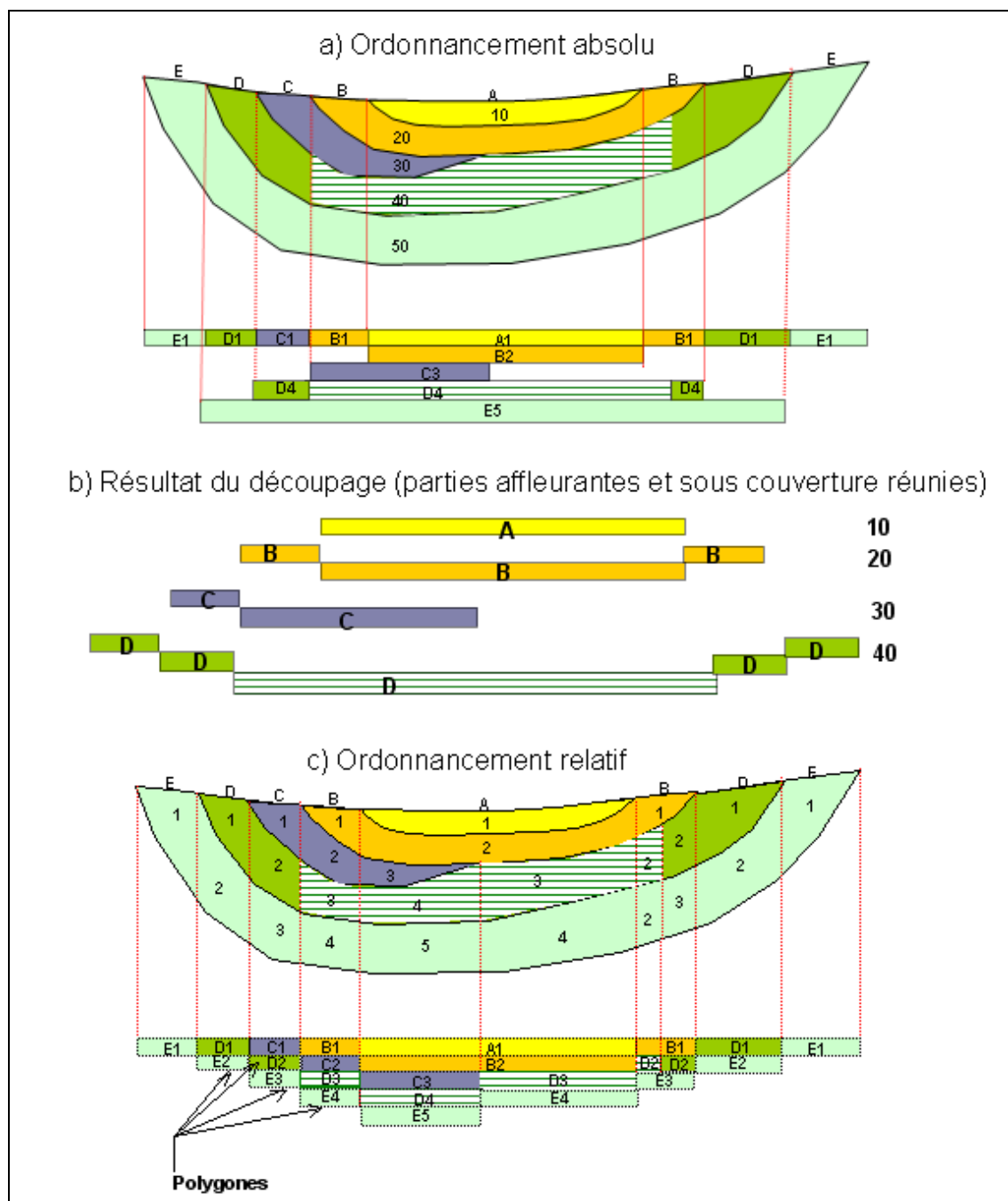


Illustration 4 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités

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.**

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. Il peut néanmoins exister des cas où une entité de niveau 3 s'étend sur 2 entités de niveau 2 appartenant à des thèmes différents, en général passage de "l'Intensément plissée" au "Sédimentaire". Il n'y a donc pas de simplification des contours (lissage) d'un niveau à un autre.

Les entités hydrogéologiques de chaque niveau d'identification sont représentées par un ou plusieurs polygones correspondant aux parties affleurantes et sous couvertures.

Le découpage des entités est réalisé sur la base des connaissances géologiques et hydrogéologiques actuelles. Des mises à jour (nouvelles entités de niveau 3, corrections des contours) sont donc susceptibles d'être effectuées ultérieurement en fonction de la progression des connaissances.

2.3.2. Démarche générale

La démarche de découpage est largement itérative et un travail synchrone sur les niveaux 2 et 3 permet d'optimiser le processus de découpage.

Les principales étapes de la délimitation des entités sont résumées ci-après.

• Identification et cadrage hydrogéologique général

Le cadrage hydrogéologique consiste à identifier et à nommer les grandes entités hydrogéologiques de niveau national et régional dans le secteur d'étude.

Les tests de découpage réalisés en 2003 lors de la phase méthodologique d'élaboration du référentiel (Rapport BRGM RP-53127 – 2004) ont permis de dresser une première liste des entités à prendre en compte aux niveaux 1 et 2 et ainsi d'avoir une extension territoriale indicative.

• Elaboration d'un tableau multi-échelles (TME)

Ce tableau récapitule tous les types d'entités existant dans la zone d'étude 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.

Dans la phase d'élaboration du TME on recherche une correspondance d'une part entre les formations géologiques des cartes au 1/50 000 et les formations géologiques mentionnées dans les logs de forage et d'autre part entre ces formations géologiques ainsi mises en relation (cartes et logs) et les entités hydrogéologiques.

• Individualisation de l'alluvial

Le référentiel hydrogéologique définit les formations alluviales comme l'ensemble des dépôts de plaine alluviale associés aux terrasses connectées hydrauliquement avec les cours d'eau.

La complexité cartographique des formations alluviales rend difficile les traitements topologiques, appliqués aux autres entités (multiplication des polygones et des "arcs" limites). Les alluvions sont donc intégrées dans le SIG dans une couche particulière désignée surcouche (§ 2.2.3). Elles sont extraites des cartes géologiques au 1/50 000 et sont maintenues inchangées dans leurs contours quel que soit le niveau de détail (NV1, NV2, NV3).

Parallèlement à cette surcouche globale des alluvions, une surcouche contenant les parties alluvionnaires productives peut être constituée (§ 2.2.3).

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

• Découpage des entités du sédimentaire

Dans le thème sédimentaire, une entité est constituée de la partie affleurante **et** de la partie sous couverture représentées chacune par un ou plusieurs polygones (illustration 5).

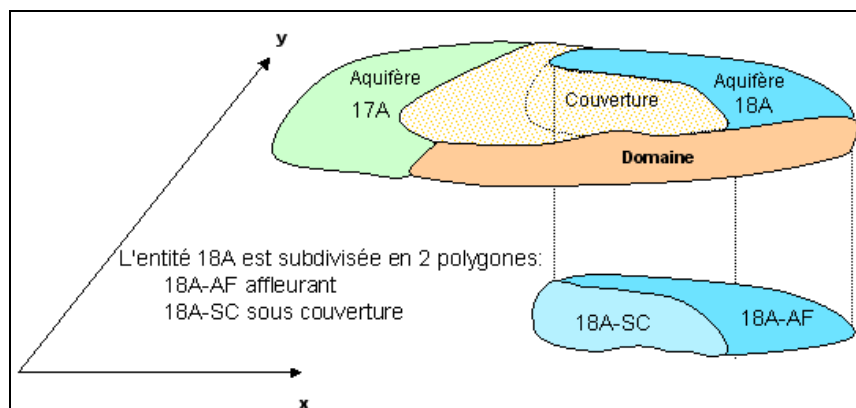


Illustration 5 - Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture

La séparation en entités différentes (partie affleurante et partie sous couverture) ne sera 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 limites entre systèmes aquifères sont les crêtes piézométriques et non les cours d'eau (contrairement aux délimitations de la BDRHF-V1).

2.3.3. Restitution par le modèle de gestion des 3 niveaux de découpage

A partir du découpage des entités effectué au niveau local (NV3) et du tableau multi-échelles faisant apparaître les 3 niveaux de découpage (NV3, NV2 et NV1), le modèle de gestion du référentiel permet de constituer automatiquement le niveau 2 (par agrégation des entités de niveau 3) puis le niveau 1 (par agrégation des entités de niveau 2, illustration 6).

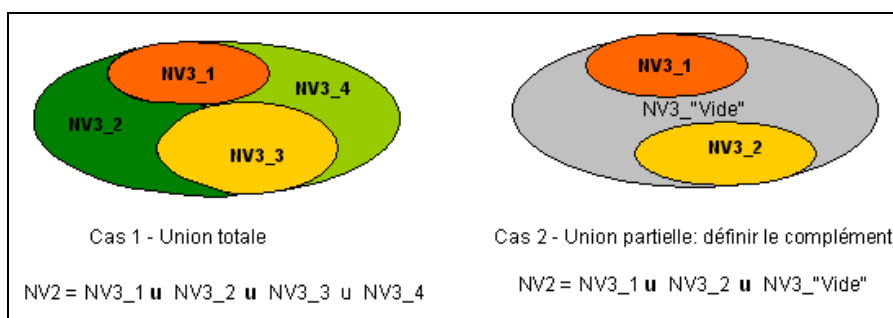


Illustration 6 – Construction d'une entité NV2 à partir des entités NV3

2.3.4. Vérification de la topologie

Lorsque toutes les entités sont découpées, il s'agit de vérifier la cohérence topologique de l'ensemble. Cette vérification est réalisée par le modèle de gestion du référentiel.

Ce modèle est présenté en détail en annexe 6. Entre autres possibilités, il permet de passer automatiquement d'un ordonnancement absolu des entités (correspondant à l'ordre dans lequel toutes les entités identifiées se succèdent sur la verticale, en général un ordre correspondant à un âge stratigraphique) à un ordonnancement relatif, 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 (illustration 4 ci-dessus).

L'ordonnancement absolu est repéré par un numéro d'ordre "absolu" affecté à chaque entité dans le tableau multi-échelle, utilisé par le modèle de gestion pour passer à un ordre relatif.

Le modèle de gestion du référentiel permet de vérifier de la cohérence 3D de l'assemblage des entités en mettant en évidence les anomalies de recouvrement. Il permet aussi d'éliminer automatiquement des artefacts de découpage.

La démarche générale de délimitation des entités est résumée par l'illustration 7.

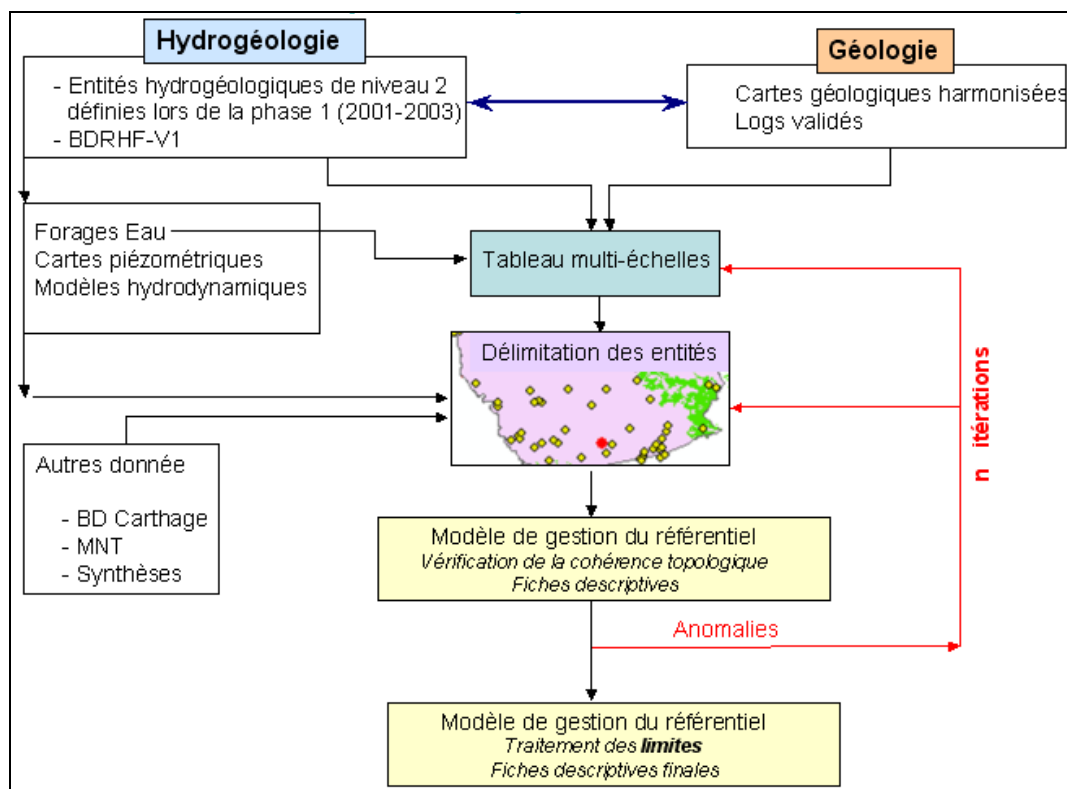


Illustration 7 - Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage

2.4. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS ET DES LIMITES

2.4.1. Caractérisation des entités

Dans le référentiel une entité est caractérisée (actuellement) par les attributs suivants (cf. annexe 5) :

- **le thème d'appartenance de l'entité** (alluvial, sédimentaire, socle,)
- **la nature** de l'entité (grand système aquifère, système aquifère, unité aquifère, grand domaine hydrogéologique, domaine hydrogéologique, unité semi-perméable, unité imperméable) ;
- **le type de milieu caractérisant l'entité** : poreux, fissuré, karstique, à double porosité ;
- **l'état hydrodynamique de la nappe** contenue dans le réservoir : libre, captive, libre et captive, alternativement libre et captive.

La caractérisation des entités se fait d'abord au niveau 3. Il ne sera pas toujours possible et pertinent de définir 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, ...).

Le choix a donc été fait de ne pas caractériser globalement les entités de niveau 2 (et de niveau 1) par un type de milieu (porosité) et par un type de nappe (libre, captive,...).

2.4.2. Caractérisation des limites

Les limites latérales entre une entité et ses voisines ont été 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 sont extraites automatiquement par le modèle de gestion du référentiel et intégrées dans la géodatabase du référentiel.

Comme pour la caractérisation des entités, et pour les mêmes raisons, les limites sont identifiées uniquement au niveau 3. Dans cette version du référentiel, elles sont caractérisées uniquement par la nature des contacts entre entités (tableau de l'illustration 8)

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.

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 :

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

Ces aspects sont détaillés en annexe 6 (§ 1.2.4).

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 8).

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, p.99)
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	/

Illustration 8 - Nature des contacts entre entités et limites hydrogéologiques correspondantes

...

3. Mise en œuvre du découpage des entités

3.1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE

Les données et/ou documents utilisés pour mettre en œuvre le découpage sont les suivants :

- la carte géologique harmonisée de la Lozère au 1/50 000,
- les logs géologiques validés extraits de la Banque de données du Sous-Sol, inclus dans la zone d'étude,
- les polygones des entités hydrogéologiques de la synthèse hydrogéologique de la région Languedoc-Roussillon,
- les limites de bassins versants issues du référentiel hydrographique BD-Carthage (IGN ©),
- les informations collectées dans les différents rapports d'études (dont les plus importants sont mentionnés dans les références bibliographiques),
- l'atlas géologique du Sud-est.

3.2. ÉLABORATION DES TABLEAUX MULTI-ECHELLES

3.2.1. Formations sédimentaires

Le thème "sédimentaire" regroupe les grands ensembles sédimentaires identifiés du Permien au Pliocène.

Ce thème comprend aussi les formations superficielles quaternaires : formations alluvionnaires récentes, alluvions anciennes, déconnectées hydrauliquement des cours d'eau et moraines glaciaires.

Les formations résiduelles de faible extension (codées "F_{LZ}", "FC") ont été extraites des cartes géologiques et rattachées aux formations d'origine sur la base d'une analyse litho-stratigraphique. Comme pour les formations alluvionnaires, ces formations ont le statut d'entités complémentaires et font partie de la surcouche du référentiel.

Le tableau multi-échelles correspondant aux terrains sédimentaires de Lozère a été élaboré à partir de l'inventaire des formations identifiées dans les cartes géologiques au 1/50 000 et des sources d'informations listées au paragraphe 3.1, notamment celles contenues dans les logs géologiques validés.

Ce tableau (consultable en annexe 1) rassemble et ordonne suivant le numéro d'ordre absolu l'ensemble des entités identifiées dans la zone d'étude. Il intègre les trois niveaux d'identification : NV1, NV2 et NV3.

Les entités pouvant être communes aux différentes régions limitrophes de la Lozère (Midi Pyrénées, Auvergne), une colonne du tableau précise leur extension.

Au total, ont été identifiées :

- **23 unités de niveau local (NV3)** dont 12 limitées à la Lozère, 9 communes avec Midi-Pyrénées et 2 avec l'Auvergne,
- **7 systèmes ou domaines du niveau régional (NV2)** tous communs avec les régions Midi-Pyrénées et Auvergne,
- **7 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1)** tous communs avec les régions Midi-Pyrénées et Auvergne.

A ces "entités principales" il faut ajouter des "entités complémentaires" représentées par :

- les alluvions récentes (cf § 3.3.4.1),
- les entités karstiques (cf § 3.3.4.2),

Ces entités sont identiques aux trois niveaux de découpage.

3.2.2. Formations de socle et formations volcaniques

Volcanisme

Deux entités de niveau 3 ont été distinguées (annexe 1) :

- les formations volcaniques miocènes de l'Aubrac du bassin versant du Bès, unité aquifère codée 450A01,
- les formations volcaniques miocènes de l'Aubrac du bassin versant du Lot, la Colagne et la Truyère, unité aquifère codée 450A03.

Ces deux entités sont rassemblées dans une entité de niveau 2 correspondant au système aquifère des "formations volcaniques miocènes de l'Aubrac du bassin versant de la Truyère et du Lot" (450A). Le niveau 1 est quant à lui identique au niveau 2.

Socle

Le tableau multi-échelles des formations de socle a été élaboré sur la base des données de références décrites précédemment. Ce tableau (annexe 2) intègre les trois niveaux d'identification (NV1, NV2, NV3).

Au total, ont été identifiées :

- 18 unités de niveau local (NV3) dont 10 situées dans le bassin Adour-Garonne, 5 dans le bassin Loire-Bretagne et 3 dans le bassin Rhône-Méditerranée. La plupart de ces entités se prolongent hors des limites du département.
- 12 unités de niveau régional (NV2) dont 1 située uniquement en Lozère (entité 477H).
- 5 unités de niveau national (NV1) communes avec les régions voisines.

3.3. DÉMARCHE DE DÉCOUPAGE

3.3.1. Formations sédimentaires

Le tableau multi-échelles a été élaboré à partir de l'inventaire des formations identifiées dans la carte géologique harmonisée de la Lozère et des sources d'informations listées au § 3.1.

Dans une première phase de travail, on cherche à établir une correspondance entre les formations géologiques de la carte harmonisée et des entités hydrogéologiques de niveau 3. L'illustration 9 fournit un exemple d'une telle mise en relation.

Notation	Description	Age début	Code Entité BDLISA	Intitulé entité
j3CSd	dolomie - Causse de Sauveterre - Domaine des Grands Causses	Bathonien	H28B15	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien au Bathonien dans le Can de l'Hospitalet - Système des Grands Causses
j2aCc	calcaires blancs gris oolithique à entroques, en gros bancs et à chailles - Domaine des Grands Causses	Bajocien		
j1Cc	calcaire noduleux jaunâtre et bancs marneux grisâtres - Domaine des Grands Causses	Aalénien		

Illustration 9 – Exemple de correspondance entre formations de la carte géologique harmonisée et entités hydrogéologiques.

Parties affleurantes des entités

Les contours des formations de la carte géologique de la Lozère harmonisée (1/50000) 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 = 1 table). Le travail a été fait avec le logiciel ArcGIS (ESRI®).

La consultation de rapports d'études locales a conduit à modifier ou à retoucher certaines limites d'affleurements.

La cartographie de ces parties affleurantes a parfois nécessité une extension de leurs contours géologiques, principalement un prolongement sous les alluvions récentes. Par ailleurs, les terrains superficiels non significatifs (éboulis, colluvions, éluvions....) ont été englobés dans le polygone correspondant à leur formation d'origine (par exemple, les colluvions issues des formations calcaires sont incluses dans le domaine calcaire considéré).

Parties sous couverture des entités

Les limites sous couvertures sont tracées à l'aide des 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.

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

3.3.2. Formations karstiques

Les formations karstiques sont associées aux terrains carbonatés. En Lozère, ce type d'entité est principalement représenté par les couches carbonatées du Jurassique des Grands Causses.

Le découpage de niveau régional NV2 a été réalisé à partir des contours vectorisés et/ou harmonisés des cartes géologiques au 1/50 000, en identifiant l'ensemble des terrains susceptibles de présenter un comportement hydrodynamique de type karstique.

Dans le secteur de Sauveterre, la délimitation des entités à l'échelle de l'unité de drainage karstique a pu être entreprise à partir des données d'une étude BRGM de 2007¹. Ces entités sont rangées parmi les entités complémentaires (comme cela a été le cas des entités karstiques délimitées à partir de traçages en région Midi-Pyrénées, cf. rapport BRGM RP-56952-FR, 2009).

Cette précision dans le découpage n'a pu être atteinte dans les autres secteurs des Causses. Toutefois, ce découpage pourra évoluer en fonction de la progression des connaissances.

3.3.3. Formations du socle

La méthodologie initiale (rapport BRGM/RP-52261-FR, 2003) développée pour les formations de socle présente quelques particularités. Ainsi, selon les échelles de travail (NV1, NV2 et NV3), différentes règles de découpage sont à prendre en compte :

- le niveau national doit correspondre aux limites des bassins versants des grands cours d'eau, cartographiés dans la BD Carthage (zone hydrographique

¹ Etude hydrogéologique du Causse de Sauveterre et de ses avants Causses – Secteur Est – Lot n°5 : Synthèse – Rapport final – BRGM/RP-55690-FR

et secteurs). La superficie des entités de niveau NV1 est alors comprise en théorie entre 3000 et 5000 km²,

- le niveau régional doit être issu de la subdivision des entités de niveau NV1 selon des critères morphologiques (secteurs et sous secteurs des bassins versant) et hydrauliques (répartition statistique du débit d'étiage spécifique (QES) des bassins versants disposant de jaugeages),
- le niveau local implique l'utilisation de plusieurs critères tels que :
 - les épaisseurs des altérites du milieu fracturé,
 - le tracé des failles, issu des cartes géologiques au 1/1 000 000,
 - la distribution des zones fracturées et leur report à l'échelle de chaque bassin versant par l'interprétation de photographies aériennes,
 - les débits spécifiques de forage ainsi que leur profondeur,
 - les grandes classes lithologiques (critères indirects d'altération et de qualité hydrogéologique des altérites.

Dans la pratique, plusieurs problèmes se sont posés pour appliquer cette méthodologie aux zones de socle situées en Lozère. En effet, celle-ci nécessite de disposer d'un grand nombre de données, (géologiques, structurales, hydrométriques....) souvent méconnues.

A partir des expériences acquises ces dernières années dans la connaissance des formations de socle, il en ressort que le découpage au niveau 3 doit s'appuyer sur les critères suivants :

- la définition de classes lithologiques, minéralogiques et de texture, (classes potentiellement aquifères selon les processus d'altération (ou d'érosion) mis en jeu),
- l'identification des processus d'altération (et d'érosion) via la connaissance de l'épaisseur des altérites (si possible identifier leur nature), et, dans la mesure du possible, l'épaisseur de l'horizon fissuré,
- les caractéristiques hydrogéologiques issues des forages disponibles (notamment les débits spécifiques, ceux de soufflage en cours de travaux....).

L'utilisation des tracés de failles et l'analyse photoaérienne des zones fracturées (critères mentionnés dans le guide méthodologique) n'apparaissent pas essentielles. En effet, les failles tectoniques productives représentent généralement une petite partie de la ressource aquifère à l'échelle d'un bassin versant (une faille productive n'est pas un système aquifère), d'où une importance limitée.

Toutefois, même les informations listées précédemment ne sont généralement pas facilement accessibles, voire inexistantes. C'est notamment le cas des épaisseurs des altérites, majoritairement absentes des cartes géologiques au 1/50 000. Dans l'attente d'acquisition de données pertinentes sur le socle, il a été décidé de s'appuyer uniquement sur des critères de contrastes lithologiques et de bassins versants topographiques.

Remarque – Au niveau national, c'est aussi la méthode de subdivision des entités de niveau 2 en bassins versants de niveau 3 (Sous-Secteurs ou Zones-Hydrographiques BD-Carthage) qui a été retenue, car elle permettait d'avoir une démarche commune de découpage sur l'ensemble du territoire. Les "entités_BV" sont ensuite caractérisées en fonction des données disponibles (lithologie, hydrogéologie) et éventuellement regroupées lorsque des bassins voisins présentent des similitudes [vis-à-vis des descripteurs utilisés pour les caractériser].

3.3.4. Alluvions et secteurs karstiques

Alluvions et secteurs karstiques ont été rangés dans la surcouche des entités complémentaires.

3.3.4.1. Alluvions

Les polygones correspondant à ces formations alluvionnaires ont été extraits des cartes géologiques concernées en fonction de leur notation. Ainsi, les termes Fz, FC et Flz ont été pris en compte.

Tous les polygones résultant ont été assemblés puis découpés par l'emprise spatiale de la zone d'étude pour constituer l'entité complémentaire des "**alluvions récentes**".

L'illustration 10 présente l'ensemble des dépôts alluvionnaires de la zone d'étude.

3.3.4.2. Entités karstiques

Il existe peu d'informations sur les karsts de Lozère. L'étude la plus récente sur le Causse de Sauveterre² a permis de tracer des contours de bassins d'alimentation de quelques sources. Huit unités aquifères karstiques ont été tracées (illustration 11) dont celle de la source de la Burle, la plus importante du Causse de Sauveterre côté Tarn (cf tableau multi-échelle de l'annexe 1).

² BRGM/RP-55690-FR

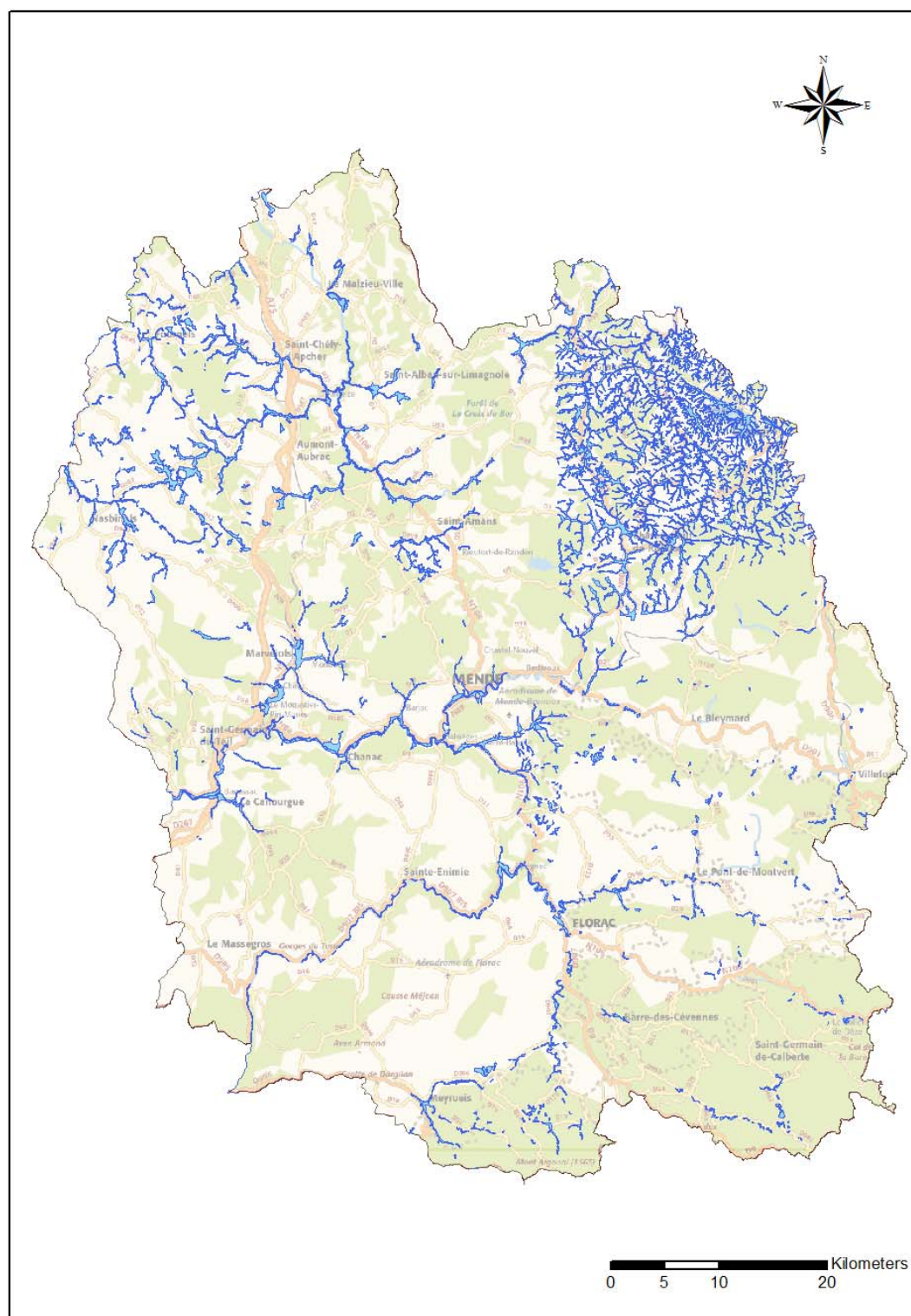


Illustration 10 – Représentation de la sur-couche des alluvions récentes de la zone d'étude

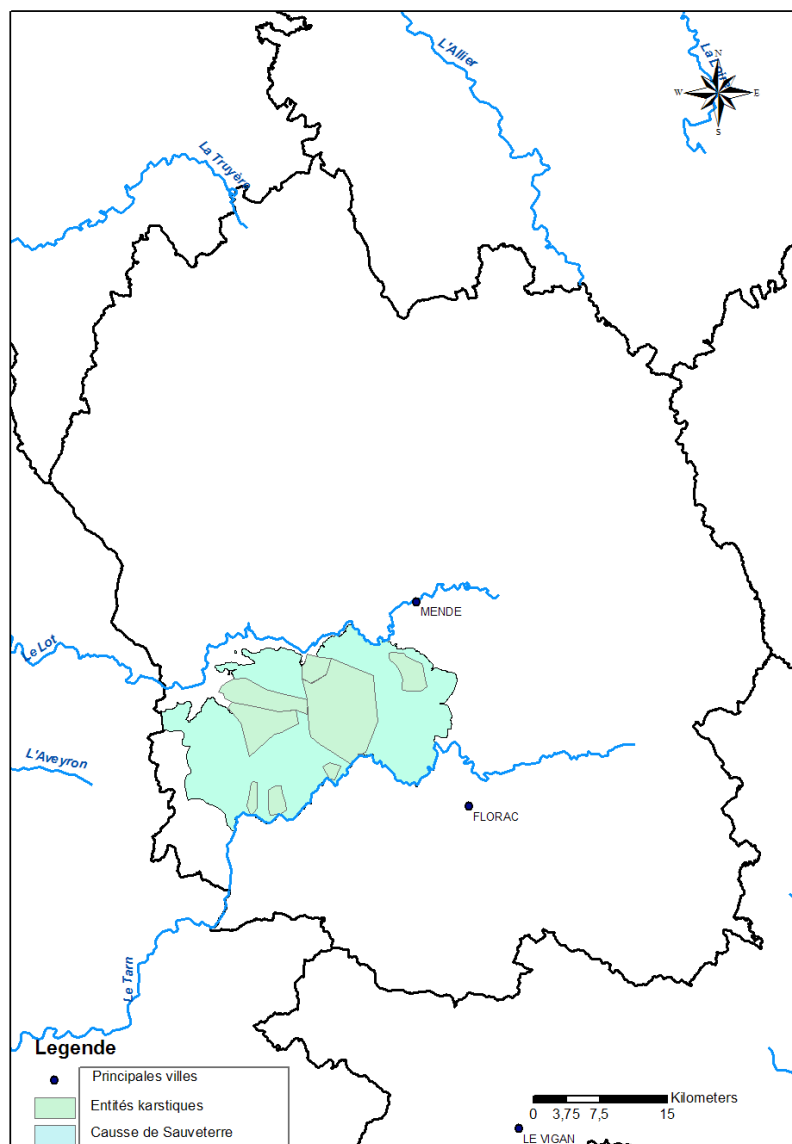


Illustration 11 – Entités karstiques de Sauveterre

3.4. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS DU THÈME SÉDIMENTAIRE

3.4.1. Formations du Primaire (Permien)

Les dépôts détritiques du Permien sont largement représentés dans la région des Grands Causses, essentiellement du côté de la région Midi Pyrénées. Ils apparaissent à l'affleurement dans le bassin de Rodez, et se prolongent jusqu'en Lozère. Ces formations, considérées comme aquifères, sont constituées de grès et de conglomérats à passées silto-pélicites.

Une unité semi-perméable (**364A01**) est délimitée au niveau local. Elle est constituée de grès et de conglomérats, pour partie sous couverture (Illustration 12). Son contour est issu des cartes géologiques vectorisées au 1/50 000. Cet ensemble se prolonge en région Midi Pyrénées.

Au niveau régional, cette unité fait partie de l'entité 364A, entité beaucoup plus étendue en Midi Pyrénées.

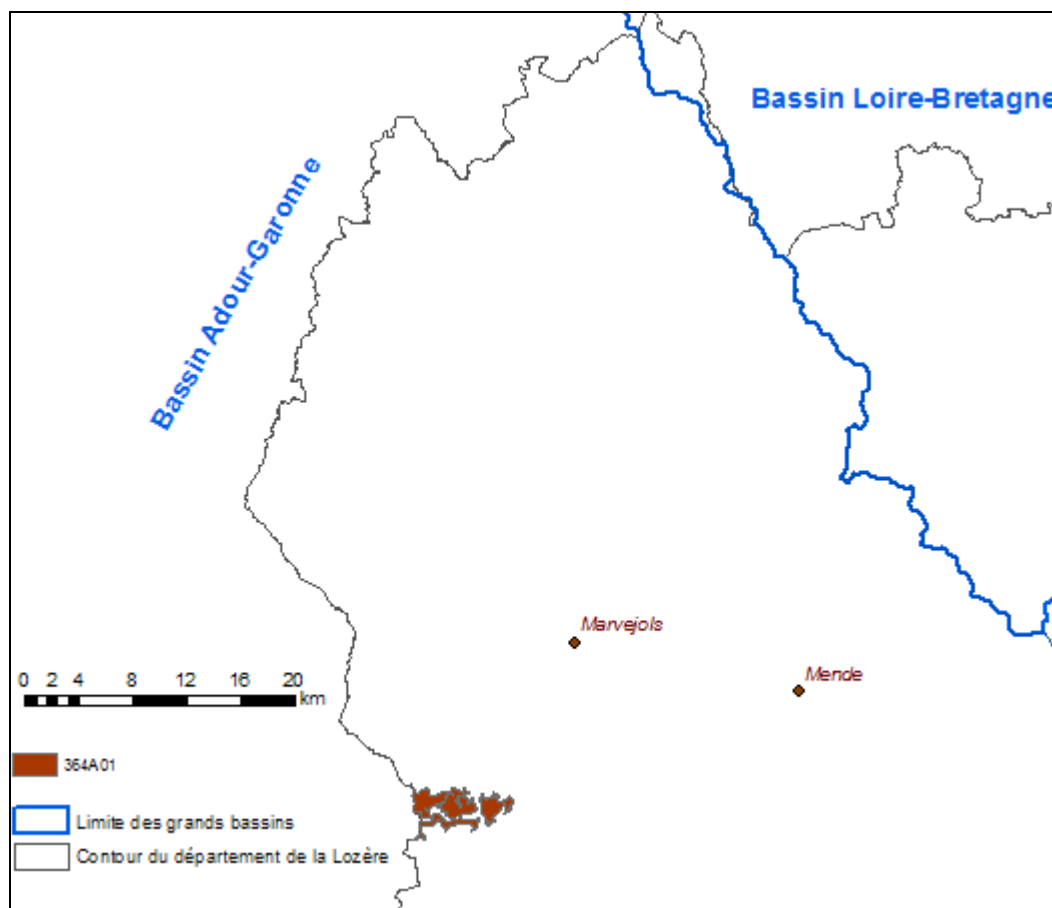


Illustration 12 – Entité de niveau NV3 (364A01) correspondant aux formations primaires

3.4.2. Formations du Trias

Des dépôts de grès et conglomérats du Trias (**362A01**) ont été cartographiés dans la région des Grands Causses située en Midi-Pyrénées dans le département de l'Aveyron, mais également en Lozère. Ils sont considérés comme semi-perméables en raison des formations marneuses et argileuses associées aux grès et conglomérats. Ces dépôts sont pour l'essentiel sous couverture en Lozère. Un découpage identique à la précision du 1/50 000 a été pris en compte pour les niveaux 2 et 3 (Illustration 13).

L'extension septentrionale de 362A01 a été établie à l'aide de l'Atlas du Sud-Est.

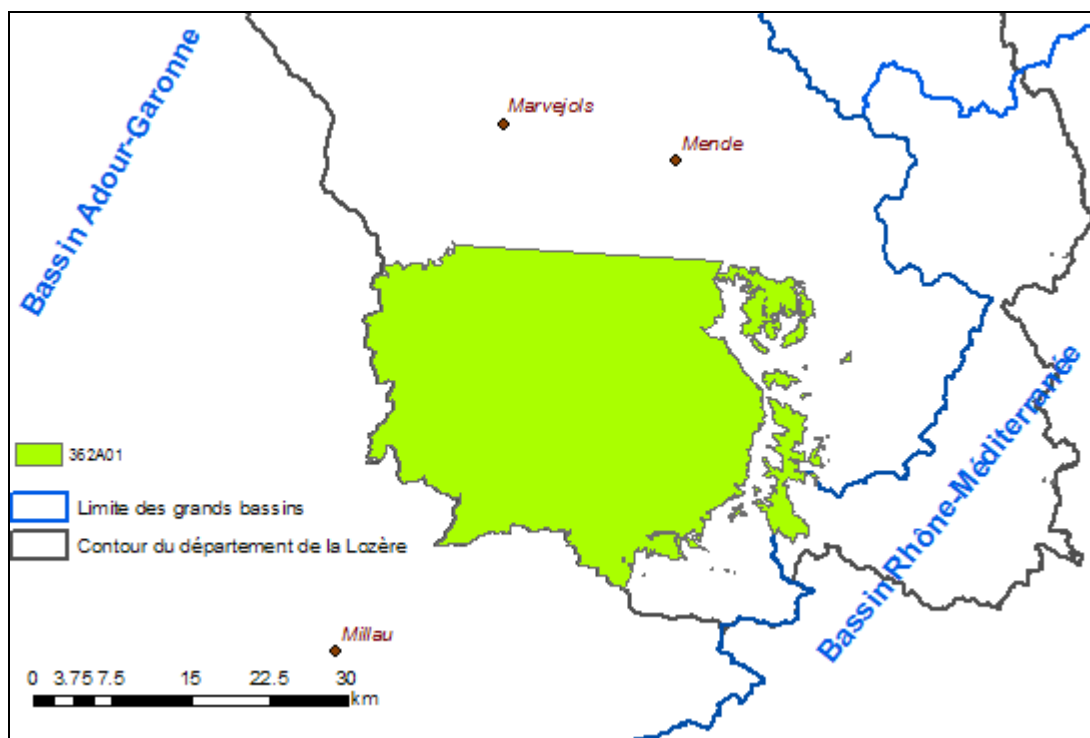


Illustration 13 – Entité de niveau NV3 des formations du Trias

3.4.3. Formations du Jurassique

Dans le bassin Adour-Garonne, à l'est de Midi-Pyrénées, les terrains jurassiques s'adosent aux entités cristallines du sud du Massif central. Les affleurements sont largement développés dans les départements de la Lozère et de l'Aveyron et correspondent aux Grands Causses.

Les différentes entités hydrogéologiques jurassiques ont été délimitées en prenant compte des conditions de dépôts et de diagenèse particulières aux différents secteurs concernés, déterminant les propriétés réservoirs de ces aquifères.

3.4.3.1. Découpages des formations jurassiques dans la région des Grands Causses

La série sédimentaire de la région des Grands Causses débute par un ensemble carbonaté, de dolomies et de calcaires, passant de 50 mètres en bordure à 250 mètres au centre du bassin (sud de Millau) déposé entre l'Hettangien et le Carixien (Lias inférieur).

La sédimentation commence à devenir argileuse au Domérien (Lias supérieur), avec une alternance de marnes et de calcaires puis devient franchement argilo-marneuse au Toarcien (faciès de marnes noires épaisses). A partir de l'Aalénien et jusqu'au Tithonien, une puissante série carbonatée se met en place, constituée de calcaires, de calcaires dolomitiques, de dolomies et de calcaires oolithiques, avec une période Callovo-Oxfordienne plus argileuse, ce qui différencie parfois deux aquifères : l'aquifère du Dogger et celui du Malm. Cette distinction est toutefois délicate.

Ainsi, les deux grands ensembles carbonatés du Lias inférieur et du Dogger, délimités par l'imperméable du Toarcien, ont été distingués pour constituer les entités aquifères jurassiques de niveau régional dans le secteur des Grands Causses. Le découpage

est issu des contours des cartes géologiques vectorisées au 1/50 000, harmonisées à l'échelle de la Lozère.

Au niveau local, ces entités ont été subdivisées en fonction des bassins versants et des principales failles affectant les formations étudiées. Une distinction avec les parties profondes a également été réalisée.

Les formations aquifères du Lias inférieur sont ainsi respectivement subdivisées en 9 unités aquifères (codification : **360A01 à 360A17**, illustration 14 ci-après), et celles du Dogger et Malm en 9 unités aquifères également (codification : **356A01 à 356A17**, illustration 15 ci-après) correspondant pour partie aux principaux causses de la région (Causse de Méjean, de Sauveterre, Noir, ...).

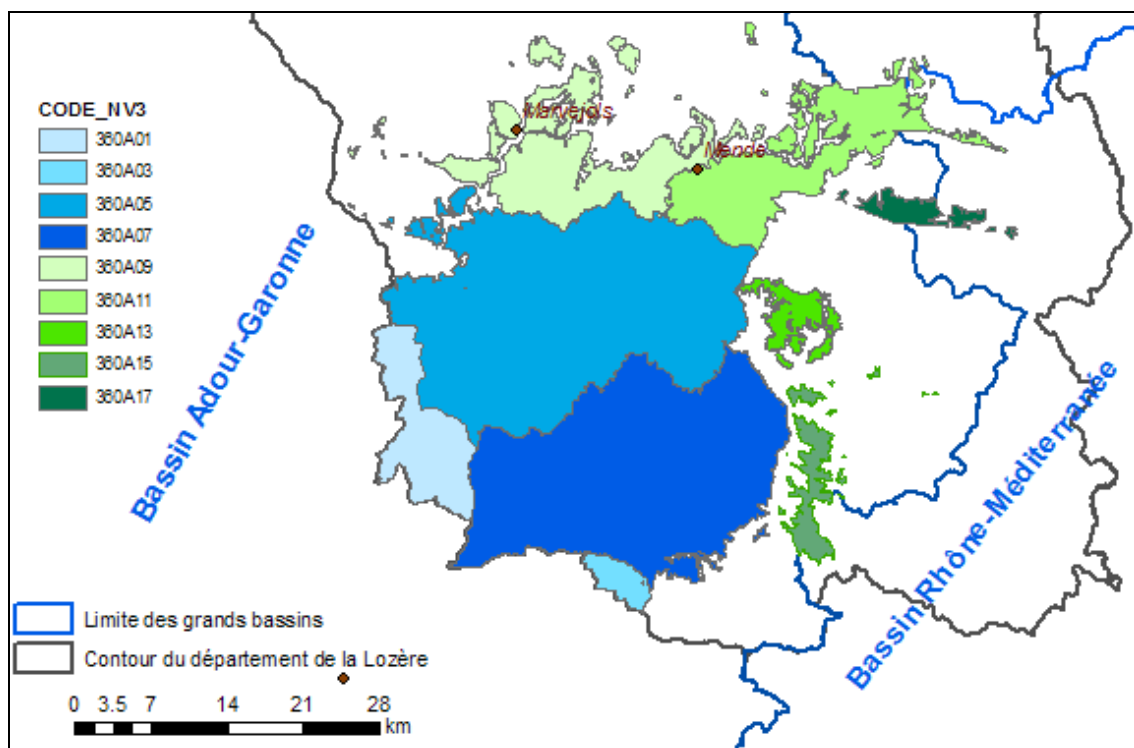


Illustration 14 : Systèmes aquifères des calcaires du Lias inférieur dans le système des Grands Causses

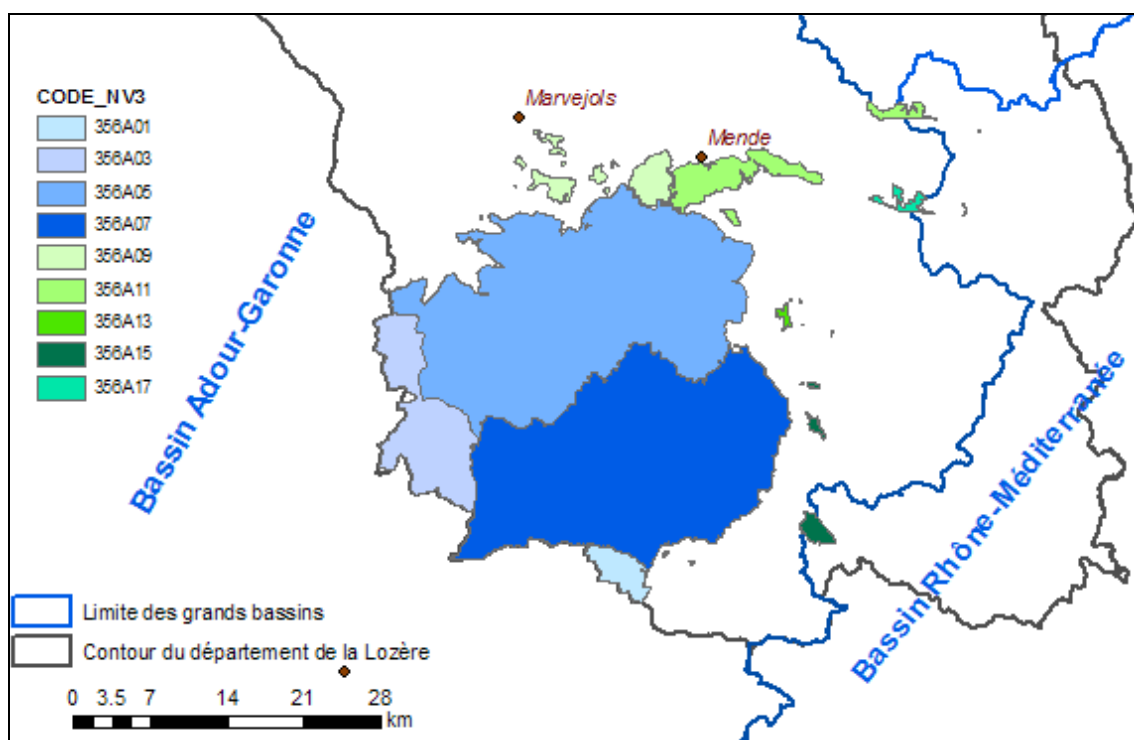


Illustration 15 - Systèmes aquifères des calcaires du Dogger et Malm dans le système des Grands Causses

3.4.4. Formations tertiaires

Les formations tertiaires sont présentes au Nord du département, en limite avec l'Auvergne. Il s'agit des fossés oligocènes présents au nord de la Margeride. Le plus important de part sa surface est celui dit du Malzieu, constitué par les **Poudingues et Grès du Malzieu (Oligocène supérieur)**. Ces formations épaisses de 3 à 10 m reposent directement sur le granite en bordure ouest du fossé. L'affleurement principal (bois de Ganigal) se trouve immédiatement au Sud du Malzieu. On retrouve ces roches détritiques plus au Nord, au sommet de la butte de Verdezun. Les niveaux de poudingues renferment des galets de quartz et de silex réunis par un ciment arkosique. Ces formations ne constituent pas des aquifères. Elles reposent sur les **argiles sableuses bariolées (Oligocène moyen)**. Les argiles sableuses, le plus souvent de teinte rougeâtre, constituent la masse principale des sédiments oligocènes. L'épaisseur de cette formation peut être estimée à une centaine de mètres. Ces argiles ont été qualifiées de bariolées par M. Boule (1887) en raison de la présence occasionnelle de taches grises ou vertes dues à des modifications de couleur des oxydes de fer autour des racines et en d'autres points privilégiés.

L'ensemble de ces formations a été rassemblé en une unité imperméable nommée "**Argiles à graviers de l'Oligocène**" (329A01, illustration 16).

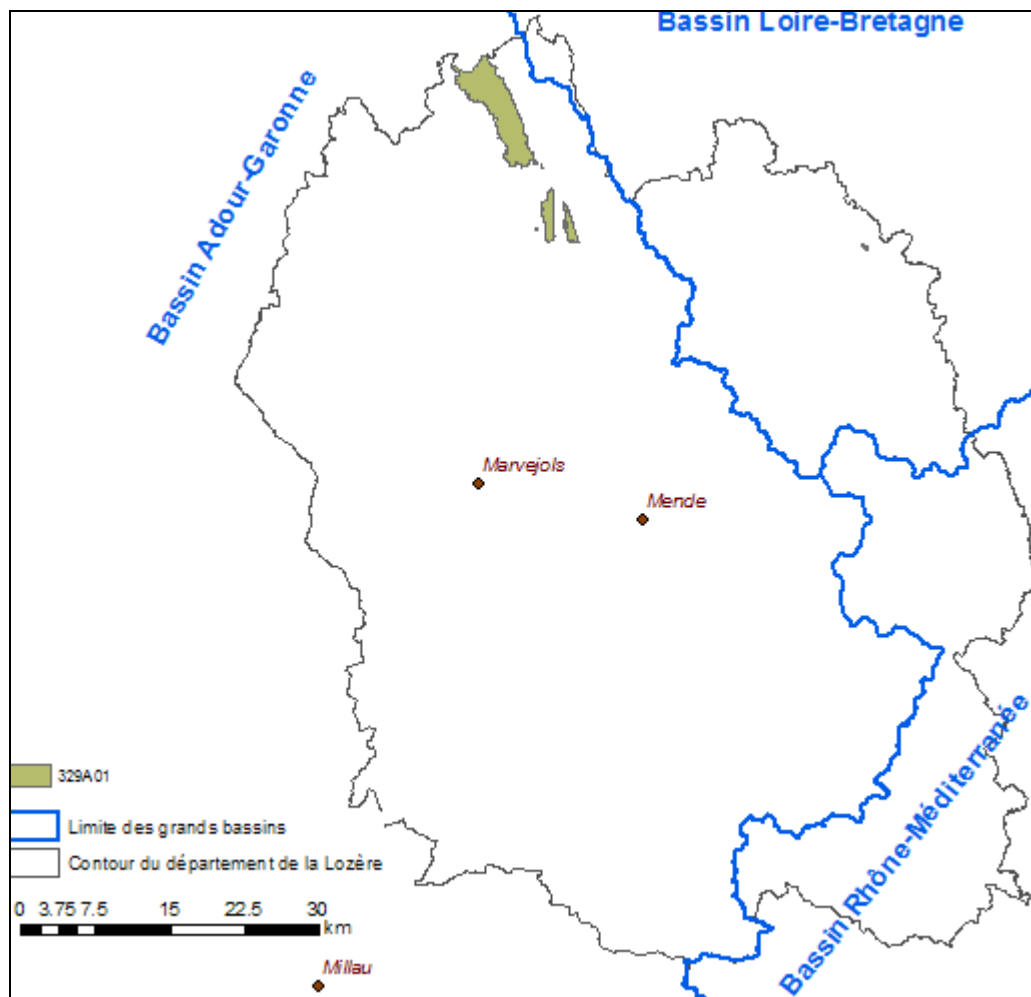


Illustration 16 – Entité NV3 de l'Oligocène

3.4.5. Formations superficielles du Quaternaire

Les dépôts morainiques identifiés sont présents dans le nord de la Lozère, dans le secteur de l'Aubrac et de la Margeride où ils constituent une couverture plus ou moins dispersée ou continue, d'épaisseur variable.

Ces dépôts témoignent de l'enneigement total de l'Aubrac, lors de la dernière glaciation. Ils jouent un rôle hydrogéologique comparable aux franges arénacées issues de l'altération granitique et ont été regroupées dans une seule entité (illustration 17), reconduite à l'identique du niveau 3 (code : 306A01) au niveau 1 (code : 306).

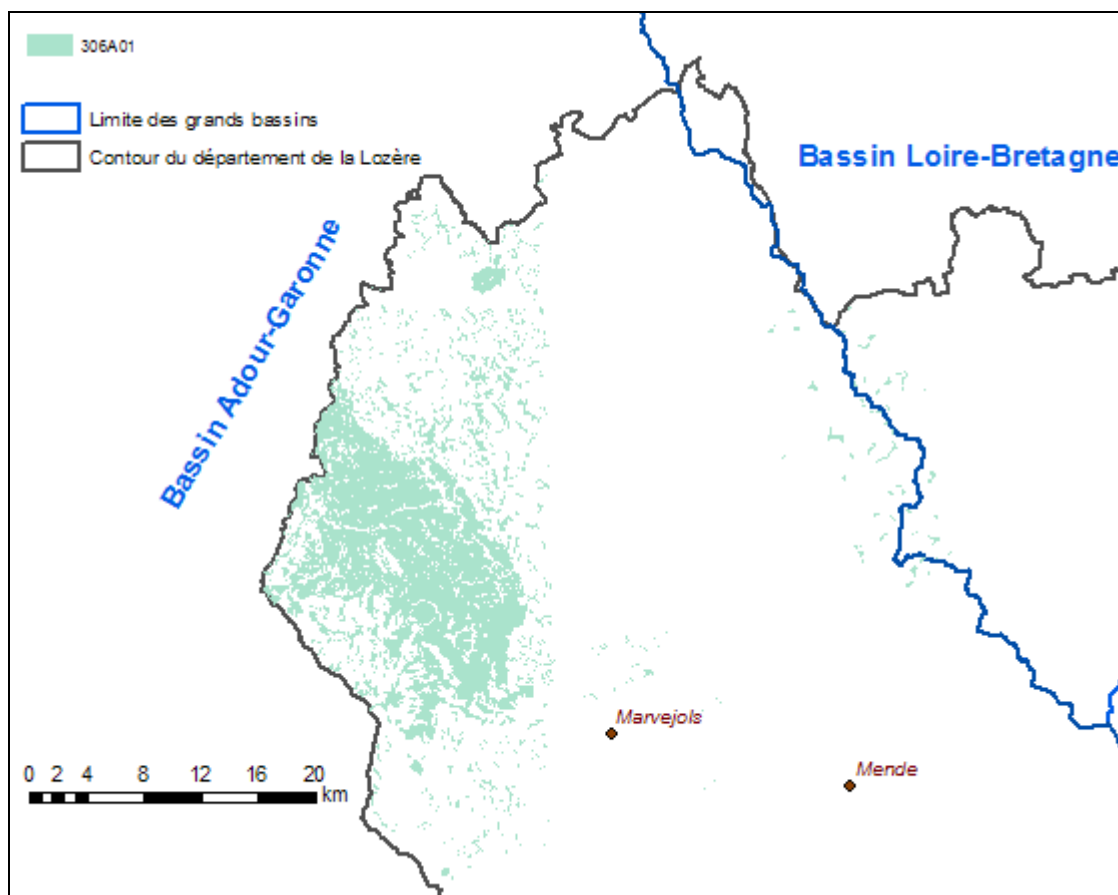


Illustration 17 – Entité NV3 des formations morainiques quaternaires

3.5. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS EN ZONE DE SOCLE

Pour la délimitation des unités de niveau NV3, les étapes suivantes ont été suivies :

- distinction de trois classes lithologiques au sein des formations de socle,
- inventaire des formations géologiques appartenant à ces trois grands ensembles constituant le système à découper,
- extraction des polygones correspondant aux formations affleurantes des trois ensembles lithologiques,
- regroupement et fusion des polygones constitutifs de chaque entité,
- redécoupage des systèmes par bassins versants (sous secteurs de la BD Carthage).

18 entités de socle NV3 ont été délimitées (illustration 18).

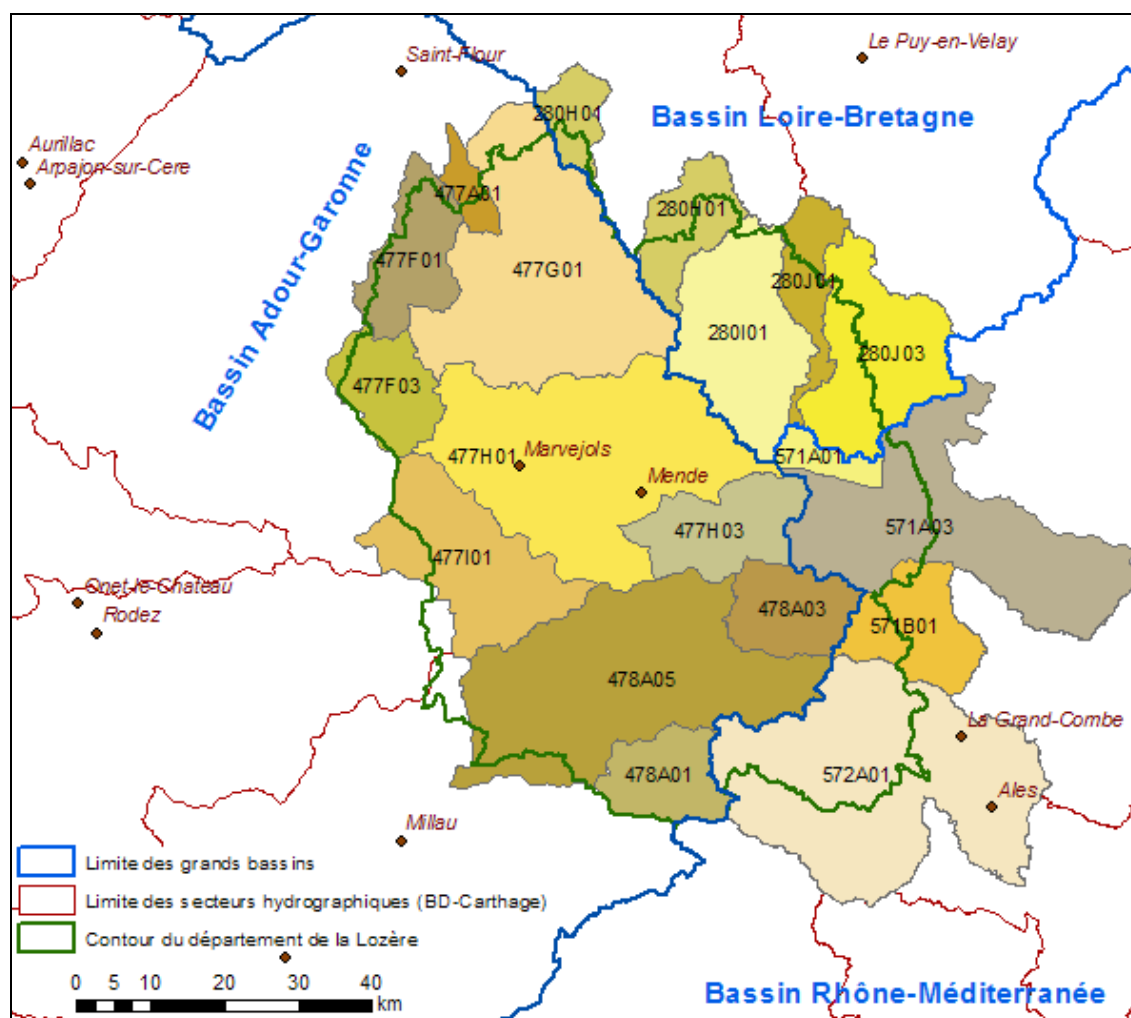


Illustration 18 – Entités NV3 des formations de socle

Deux classes lithologiques principales sont distinguées au sein des formations de socle en Lozère :

- les ensembles granitiques, considérés comme des unités aquifères en raison de la nature généralement perméable des produits d'altération résultant (de type arène granitique),
- les ensembles cristallophylliens (schistes, gneiss), considérées comme imperméables en raison de la nature globalement argileuse des produits d'altération.

La diversité des modes de formation des ensembles géologiques cartographiés (intrusions magmatiques, métamorphisme de contact, métamorphisme HP-HT, etc.) conduit à une complexité structurale sur toutes les zones de socle. La délimitation des ensembles est difficilement réalisable en pratique. Des formations cristallophylliennes peuvent ainsi être présentes au sein des unités granitiques et inversement. Les entités ont donc été délimitées en prenant en compte les dominantes lithologiques.

A défaut d'informations précises, la prise en compte d'indices lithologiques permet d'identifier des systèmes potentiellement aquifères.

Cette méthode d'appréciation des potentialités aquifères des zones de socle présente toutefois des limites. Les formations granitiques peuvent en effet être associées à des altérites peu perméables tandis que les formations schisteuses et gneissiques peuvent être localement associées à des altérites perméables et capacitives (dépendant en partie de l'orientation de la schistosité et de la foliation).

Par ailleurs, la prise en compte locale d'intrusions filoniennes au sein de formations schisteuses pourrait indiquer la présence d'aquifères. Ce critère n'a pas été pris en compte en raison de la complexité géologique associée et du manque de données souligné au niveau local. De même, d'autres particularités géologiques locales donnent souvent lieu à la formation de petits aquifères indépendants dont l'extension limitée ne permet pas de définir une unité de niveau NV3.

Les tableaux précisant la caractérisation des entités de socle par leur lithologie sont reportés en annexe 3. Cette caractérisation est aussi intégrée dans la géodatabase du référentiel.

3.6. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS EN ZONE VOLCANIQUE

Des formations volcaniques sont présentes dans le nord de la Lozère (formations issues du volcanisme de l'Aubrac et du Cantal). Des affleurements moins étendus sont également présents sous forme de buttes témoins un peu plus au Sud et à l'Est.

Le découpage des entités volcaniques de l'Aubrac est issu des contours des cartes géologiques vectorisées au 1/50 000. L'extension globale de cet ensemble est relativement limitée (< 500 km²). Au niveau local, ces entités ont été subdivisées en fonction des bassins versants et 2 unités aquifères de niveau NV3 ont été délimitées (illustration 19), regroupées en une seule entité à l'échelle régionale et nationale.

Toutes sont partagées avec les régions Auvergne ou Midi Pyrénées.

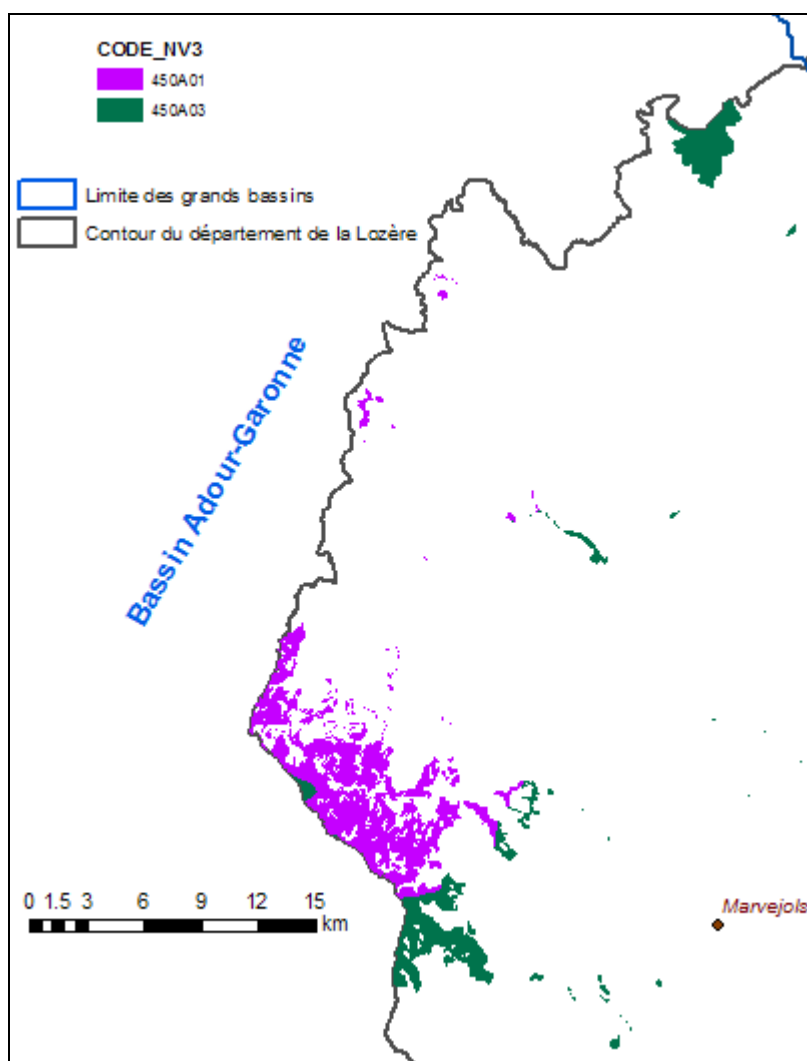


Illustration 19 – Entités NV3 des formations volcaniques

4. Résultats : géodatabase et fiches d'analyse

4.1. GÉODATABASE

Il s'agit d'une géodatabase ArcGis (version 9.31) dont la structure est décrite en détail en annexe 6. Elle contient 2 "Jeux de classes d'entités" (dans le langage ArcGis), appelées (illustration 20) :

- "GEOMETRIE",
- "ENTITES COMPLEMENTAIRES"

Dans " GEOMETRIE", on trouve la table des polygones représentant les entités (**RHF_Polygones_relatifs** et la table des polygones (**RHF_Limites**) représentant les limites des entités d'ordre 1 (illustration 20).

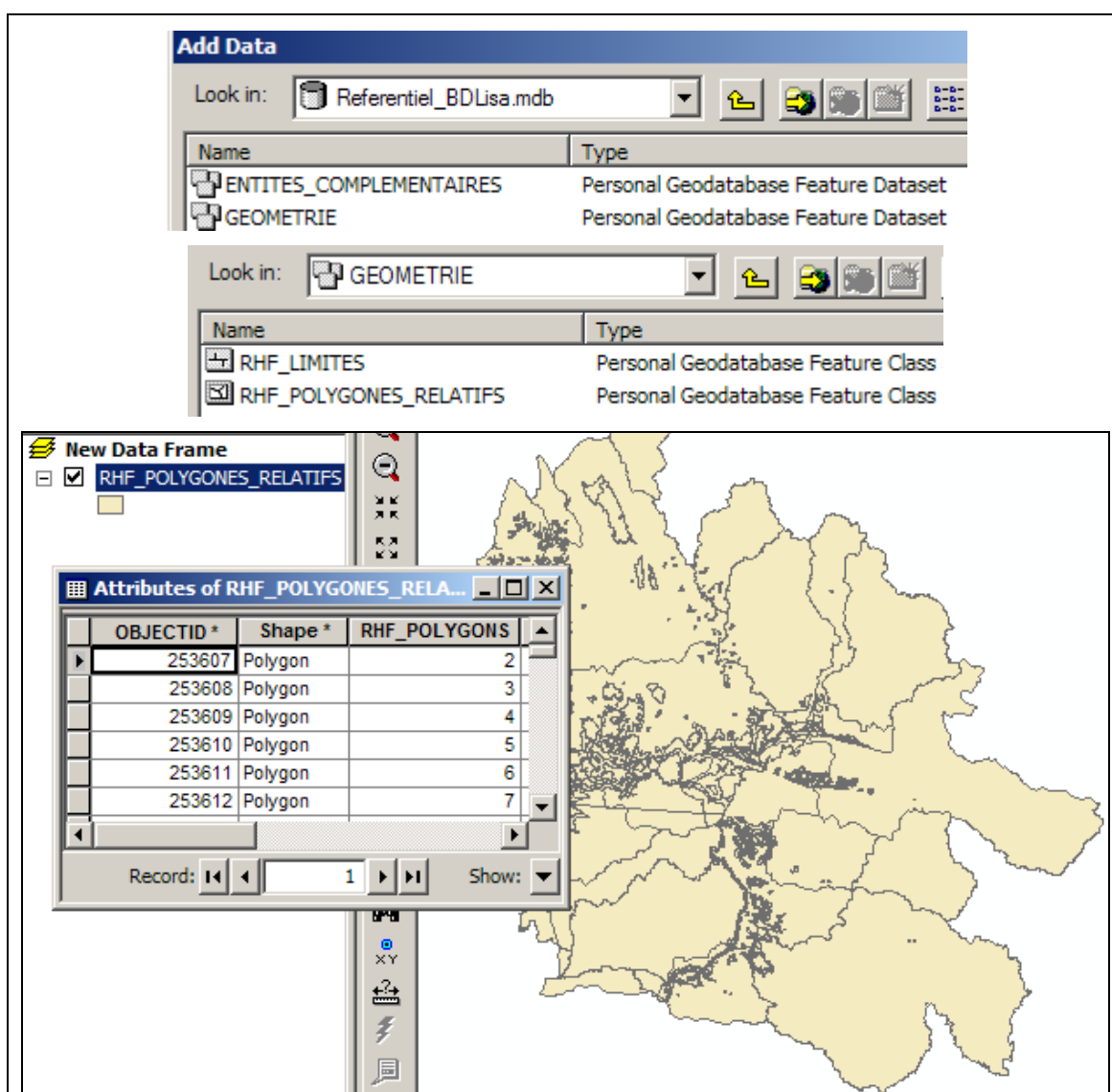
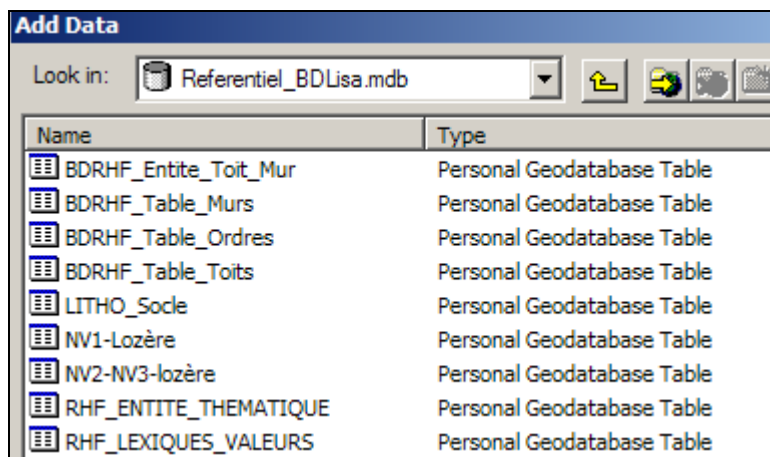


Illustration 20 – Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap

La géodatabase contient aussi d'autres tables, sans géométrie associée (BDRHF_Table_Murs, BDRHF_Table_Toits, BDRHF_Table_Ordres,...illustration 22). Ces tables sont décrites en annexe 6.

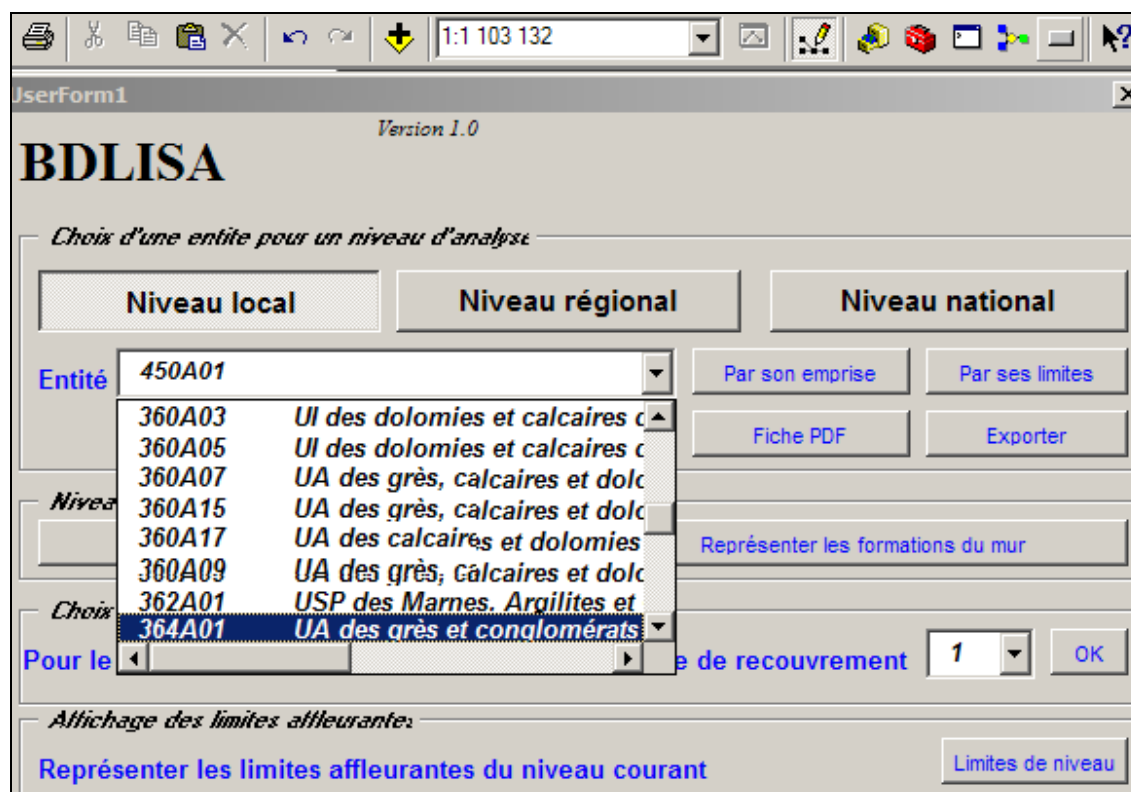
La géodatabase contient aussi la table contenant la lithologie des entités de socle (illustration 21).



Name	Type
BDRHF_Entite_Toit_Mur	Personal Geodatabase Table
BDRHF_Table_Murs	Personal Geodatabase Table
BDRHF_Table_Ordres	Personal Geodatabase Table
BDRHF_Table_Toits	Personal Geodatabase Table
LITHO_Socle	Personal Geodatabase Table
NV1-Lozère	Personal Geodatabase Table
NV2-NV3-lozère	Personal Geodatabase Table
RHF_ENTITE_THEMATIQUE	Personal Geodatabase Table
RHF_LEXIQUES_VALEURS	Personal Geodatabase Table

Illustration 21 – 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 22).



UserForm1 Version 1.0

BDLISA

Choix d'une entite pour un niveau d'analyse

Niveau local Niveau régional Niveau national

Entité 450A01

Par son emprise Par ses limites

Fiche PDF Exporter

Représenter les formations du mur

Pour le 1 OK

Affichage des limites affleurantes

Représenter les limites affleurantes du niveau courant Limites de niveau

Illustration 22 – Menu général de la géodatabase

L'icône grise en haut à gauche du ? permet d'appeler le menu

L'illustration 23 présente un exemple de sélection d'entité (de code 360A07) effectuée à partir du menu ci-dessus (illustration 22, Représenter l'entité "Par son emprise").

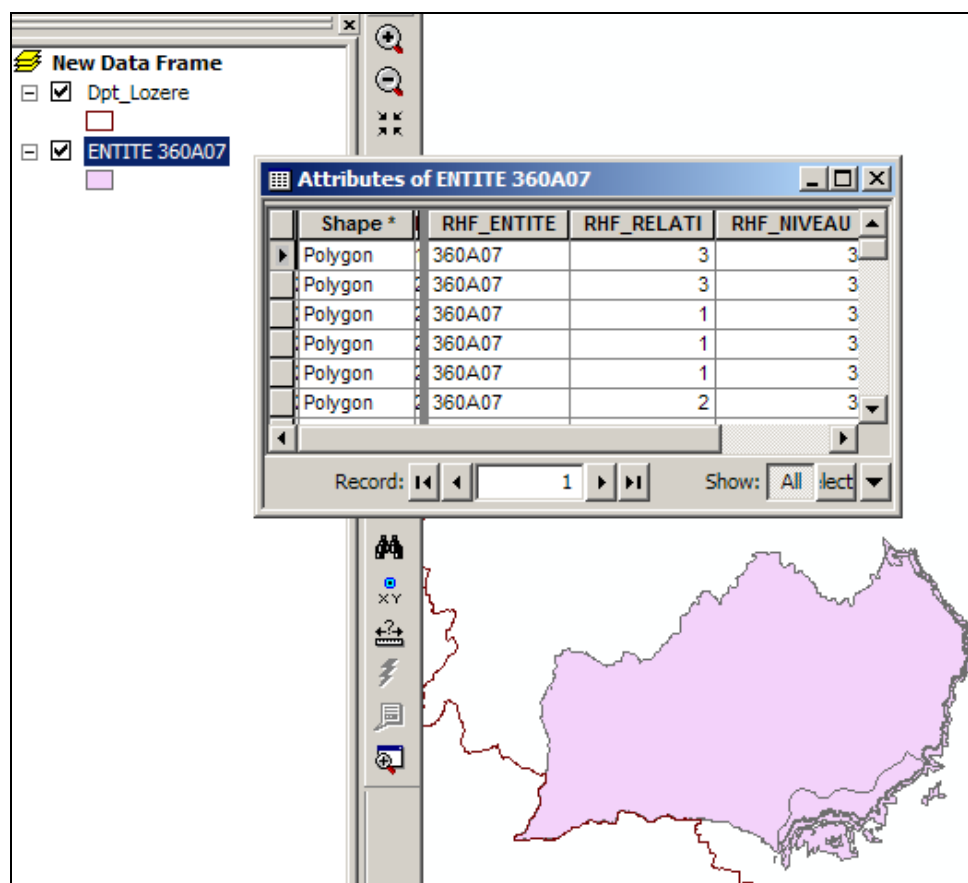
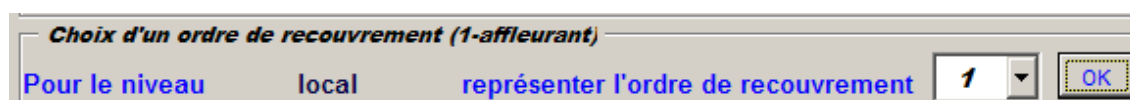


Illustration 23 - Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général

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 24).

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



L'illustration 25 présente une vue des entités de niveau 3 et d'ordre 1 (une couleur a été affectée à chaque entité).

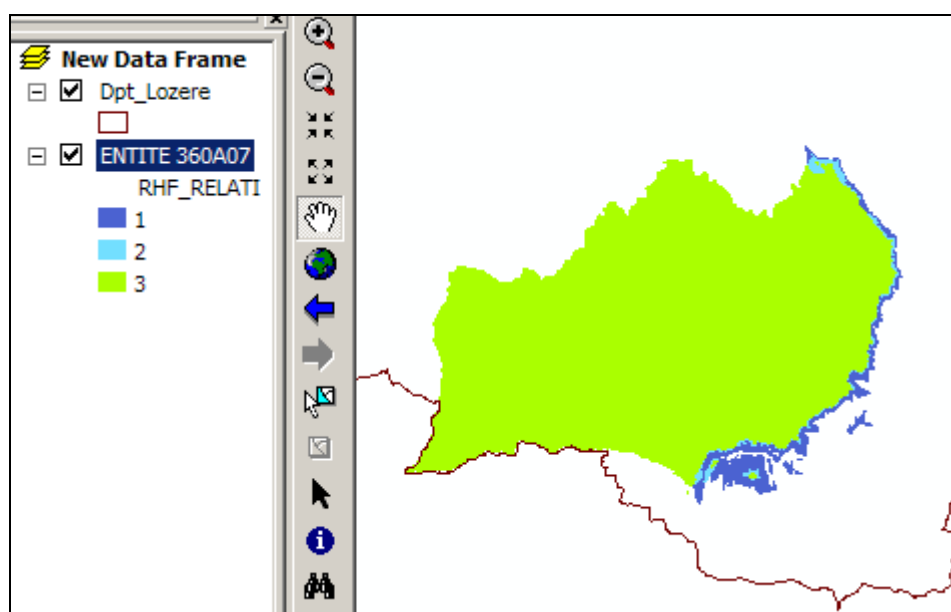


Illustration 24 - Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs)

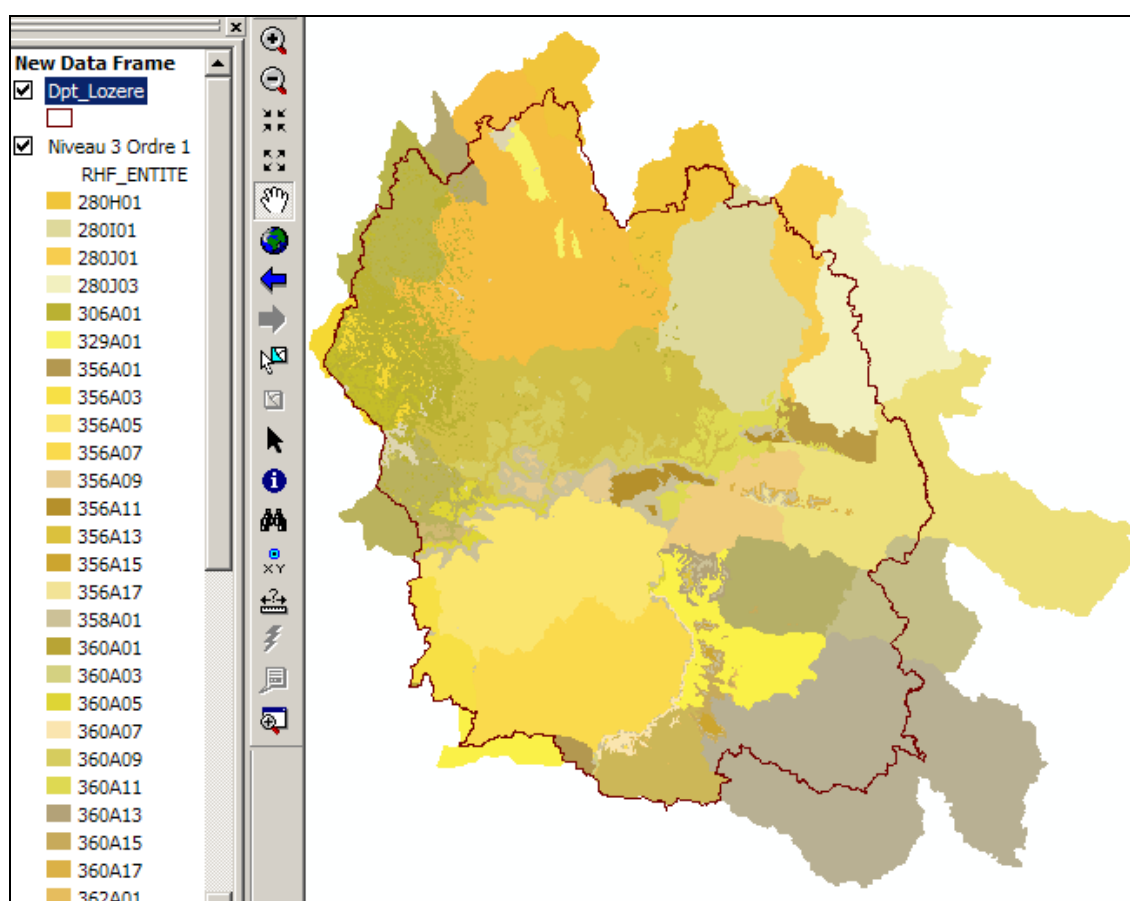
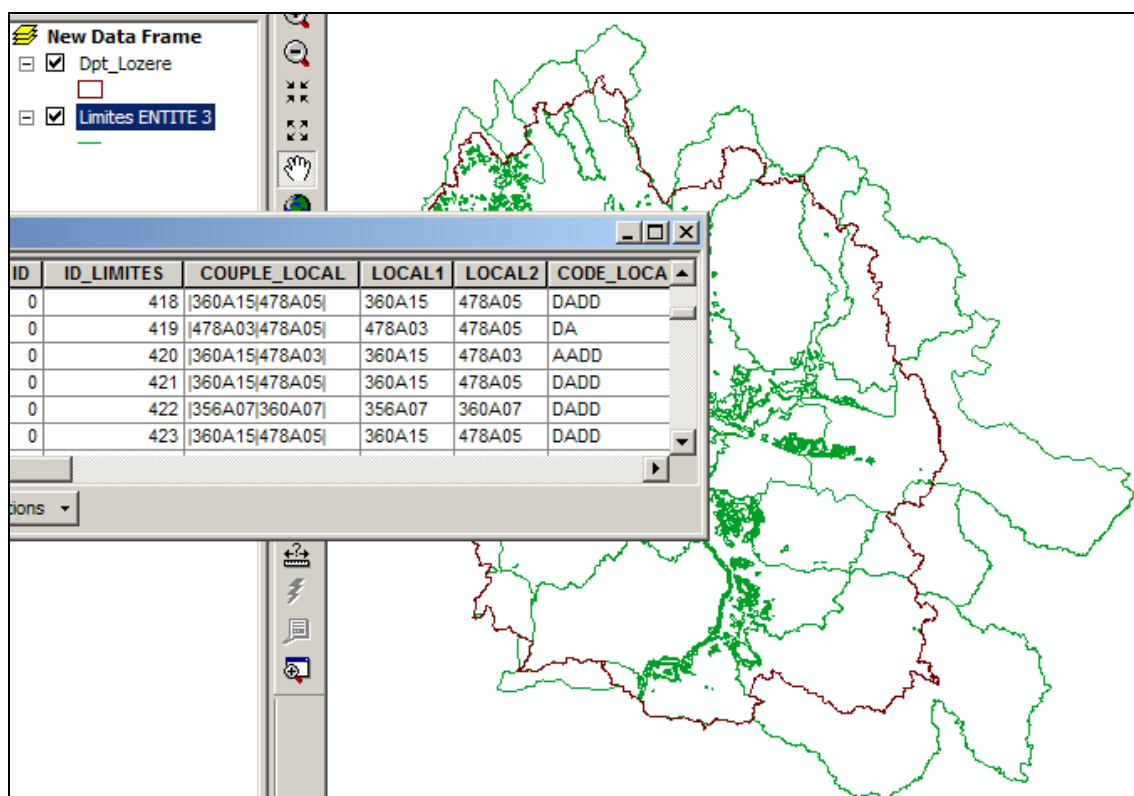


Illustration 25 – Exemple de sélection: entités de niveau 3 et d'ordre 1

Limites et table des limites

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 (illustration 26) contient aussi la nature des contacts entre entités (cf § 2.4.2.).



The screenshot shows a GIS interface with a map of the Lozère department. A table window is open, displaying the following data:

ID	ID_LIMITES	COUPLE_LOCAL	LOCAL1	LOCAL2	CODE_LOCA
0	418	[360A15 478A05]	360A15	478A05	DADD
0	419	[478A03 478A05]	478A03	478A05	DA
0	420	[360A15 478A03]	360A15	478A03	AADD
0	421	[360A15 478A05]	360A15	478A05	DADD
0	422	[356A07 360A07]	356A07	360A07	DADD
0	423	[360A15 478A05]	360A15	478A05	DADD

Illustration 26 - Table des limites et des contacts entre entités

4.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS

Le modèle de gestion permet d'éditer automatiquement (illustration 27) pour chaque entité une fiche au format pdf permettant d'analyser les "relations" de l'entité avec ses voisins et de vérifier la cohérence de l'assemblage 3D effectué par le modèle de gestion.

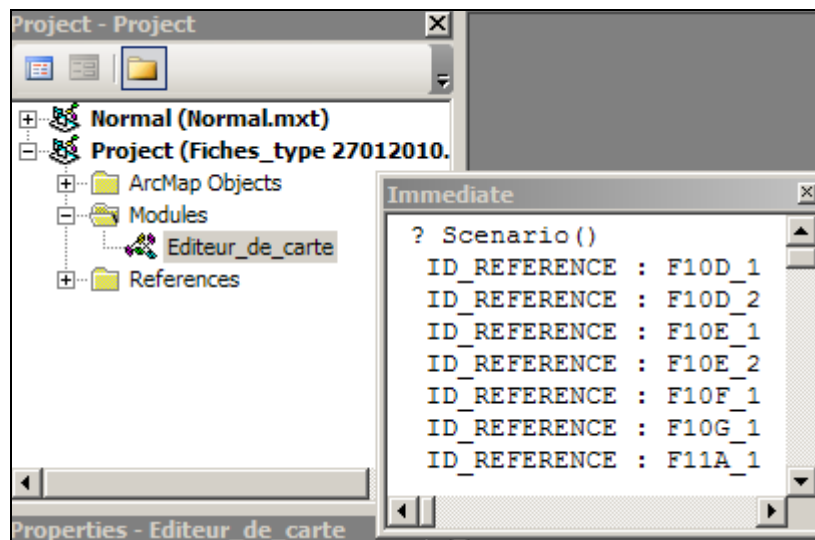


Illustration 27 – Editeur de cartes du modèle de gestion du référentiel

Une fiche d'analyse est constituée de plusieurs blocs d'informations. Les illustrations 28 et 29 fournissent un exemple pour une entité de niveau 3 ("Sables verts de l'Albien inf.", F8HIM_1).

- Sur la partie gauche de la fiche (illustration 28), 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 de la partie droite de la fiche (illustration 29) 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 (de même pour l'emprise NV1).

La superficie des parties affleurantes (ordre 1) et des parties sous recouvrements (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 (cf § 2.4.2 et annexe 6) et la longueur (en km) de chaque tronçon de limite partagée.

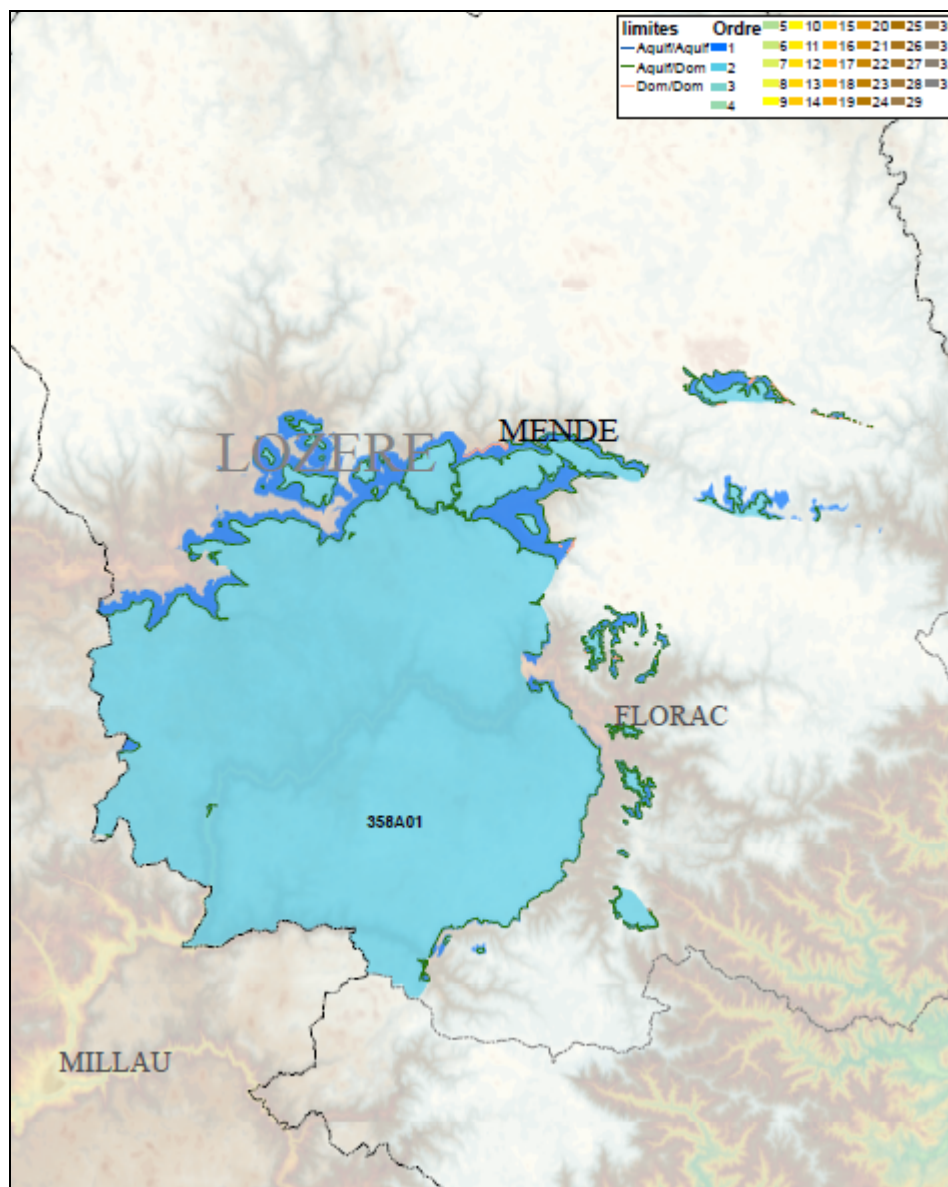


Illustration 28 – Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche)

Unité imperméable des marnes du Pliensbachien au Toarcien dans la région des Grands Causses (code 358A01).

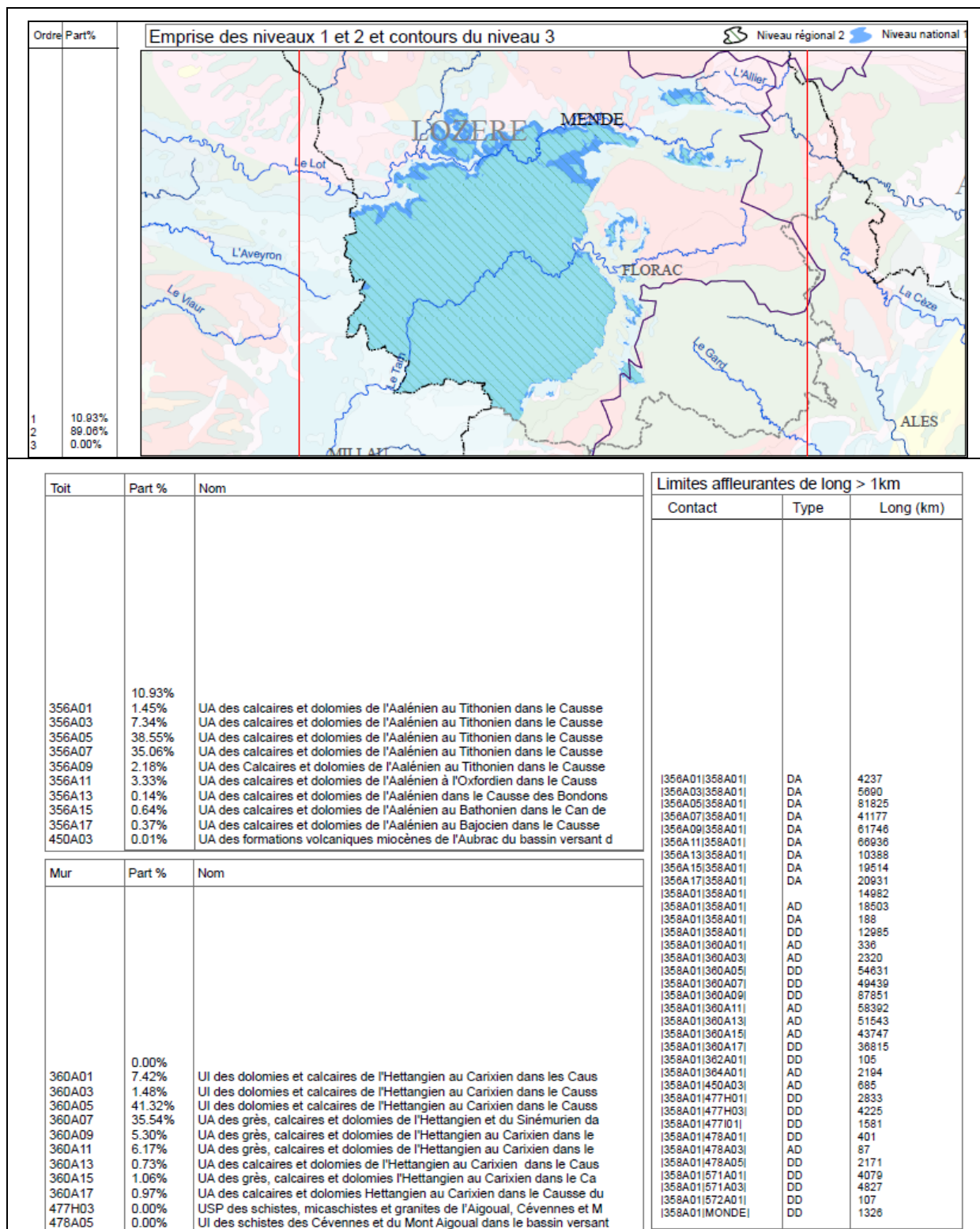


Illustration 29 – Exemple de fiche descriptive (partie droite) d'une entité (entité 358A01)

5. Conclusion

Dans le département de la Lozère, le référentiel construit comprend :

- **43 unités de niveau local (NV3)** dont 24 limitées au Languedoc-Roussillon, 12 en commun avec la région Midi-Pyrénées, et 7 avec l'Auvergne. Ces entités ont été délimitées en domaine de socle (23), dans les formations sédimentaires (18) et dans les formations volcaniques (2).
- **20 systèmes ou domaines du niveau régional (NV2)** dont une entité limitée au Languedoc-Roussillon, les 19 autres entités étant partagées avec les régions Midi-Pyrénées et Auvergne ; 12 sont en domaine de socle, 7 dans le sédimentaire et 1 entité correspond aux formations volcaniques.
- **13 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1)** tous communs avec les régions Midi-Pyrénées et Auvergne.

A ces entités s'ajoutent un ensemble d'entités "complémentaires" constituant une "surcouche" du référentiel et correspondant d'une part aux systèmes alluvionnaires et d'autre part aux formations karstiques.

Les entités, "principales" et "complémentaires", sont actuellement intégrées dans une "géodatabase" ArcGis (version 9.31) à laquelle est associée un "modèle de gestion", à la fois outil d'analyse (vérifiant la cohérence topologique 3D de l'ensemble des entités) et outil d'accès aux entités par l'intermédiaire d'un menu permettant d'effectuer de nombreuses requêtes.

A ce "rapport régional" succèdera une note de synthèse présentant l'ensemble du référentiel dans le bassin Adour-Garonne.

...

6. Références bibliographiques

- 1] DORFLIGER N., FLEURY P., LADOUCHE B., CUBIZOLLES J., IZAC J.L., LERCH V. - 2007 - Etude hydrogéologique du Causse de Sauveterre et de ses avant-causses (secteur Est). Lot N°2 et N° 3 : Hydrologie, Hydrométrie et Hydrochimie. Rapport final. BRGM/RP-55529-FR
- 2] DORFLIGER N., 2007 - Etude hydrogéologique du Causse de Sauveterre et de ses avant-causses, Lot N°5 : Synthèse. Rapport final. BRGM/RP-55690-FR
- 3] DORFLIGER N., LE STRAT P., GARDEN M., BLAISE M., IZAC J.L., DESPRATS J.F., 2006 - Géologie, tectonique et géomorphologie du Causse de Sauveterre et de ses avant-causses, secteur Est. Rapport du lot N°1 de l'étude hydrogéologique du Causse de Sauveterre et de ses avant-causses - secteur Est. Rapport final. BRGM/RP-54967-FR
- 4] DORFLIGER N., MEUS P., COURTOIS N., CUBIZOLLES J., IZAC J.L., LERCH V., 2006 - Etude hydrogéologique du Causse de Sauveterre et de ses avant-causses - secteur Est. Lot N°4 : Traçage. BRGM/RP-55160-FR
- 5] LACHASSAGNE P., IZAC J.L., PETIT V., WENG P., LADOUCHE B., 2001 Ressources en eau Margeride Ouest. Forages de reconnaissance et pompages d'essai au sein du granite de la Margeride. Synthèse des résultats de l'ensemble du volet "Socle" du projet. BRGM/RP-50871-FR
- SCP/ID, 2001 Ressources en eau Margeride Ouest. Bilan et perspectives - Analyse des données et propositions pour l'élaboration d'un schéma directeur. Phase 2. BRGM/RP-51315-FR
- 7] LACHASSAGNE P., 2001 - Hydrogéologie des aquifères discontinus - Projet "Ressources en eau Margeride Ouest". Résultats des deuxième et dernière phases du projet. BRGM/RP-51318-FR
- 8] PETIT V., 2000 BRGM/RP-50118-FR - Projet "Ressources eau Margeride Ouest". Reconnaissance des formations alluviales. Evaluation de la ressource exploitable des aquifères alluvionnaires du Malzieu-Ville et de Chinchazes. Simulations d'exploitations. Synthèse du volet "Aquifères alluviaux".

Rapports de fin de phase 1 de la construction du référentiel

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.

Annexe 1 - Tableaux multi-échelles du thème "Sédimentaire" et du thème "Volcanisme"

NV1					
Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Inter-régional
001	SYSTEME DES ALLUVIONS RECENTES (EC)	1	1	1	Oui
010	SYSTEMES KARSTIQUES (EC)	2	1	2	Oui
306	GSA DES TERRASSES ANCIENNES ET MORAINES	2	1	100	Oui
329	GDH DES ARGILES A GRAVIERS DE L'OLIGO-EOCENE	2	2	1100	Oui
356	GSA DES CALCAIRES ET DOLOMIES DU JURASSIQUE MOYEN ET SUPERIEUR EN ADOUR-GARONNE	2	1	2100	Oui
358	GDH DES MARNES NOIRES DU LIAS SUPERIEUR EN ADOUR-GARONNE	2	2	2200	Oui
360	GSA DES GRES, CALCAIRES ET CALCAIRES MARNEUX DU LIAS EN ADOUR-GARONNE	2	1	2300	Oui
362	GDH DES ARGILES, MARNES, EVAPORITES ET GRES DU TRIAS EN ADOUR-GARONNE	2	2	2400	Oui
364	GSA DES GRES ET CONGLOMERATS DU PERMO-TRIAS EN ADOUR-GARONNE	2	1	2500	Oui

VOLCANISME

Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Inter-régional
450	Formations volcaniques du Miocène du Sud du Massif Central	5	2	4900	Oui

NV2						
Code	Old	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Inter-régional
001A	ScH1A	SYSTEME DES ALLUVIONS RECENTES	1	3	1	Oui
010K	ScH2A	SYSTEME AQUIFERE DES ENTITES KARSTIQUES	2	3	2	non
306A	H3A	TERRASSES ANCIENNES ET DES MORAINES	1	3	100	Oui
329A	H56A	ARGILES A GRAVIERS DE L'OLIGO-EOCENE	2	4	1100	Oui
356A	H28B	CALCAIRES ET DOLOMIES DE L'AALENIEU AU TITHONIEU DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	3	2100	Oui
358A	H29B	MARNES DU PLIENSBAHIEU AU TOARHIEU DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	4	3100	Oui
360A	H30B	GRES, CALCAIRES DU LIAS INFERIEU DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	3	4100	Oui
362A	H31B	MARNES, ARGILITES ET GRES DU TRIAS DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	4	5100	Oui
364A	H32A	GRES ET CONGLOMERATS DU PERMIEN DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	3	6100	Oui

Code	Old	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Inter-Régional
450A	D1B	Formations volcaniques miocènes de l'Aubrac du bassin versant de la Truyère et du Lot	5	5	4900	Oui (Auvergne et MPY)

NV2					NV3							
Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Etat	Milieu	Ordre	Inter-régional
001A	SYSTEME DES ALLUVIONS RECENTES	1	3	1	001A01	Unité aquifère des Alluvions récentes (Holocène et Würm)	1	5	1	1	1	
010K	ENTITES KARSTIQUES	2	3	2	010K01	Unité aquifère de l'entité karstique de la Burle (Causse de Sauveterre)	1	5	1	3	2	
					010K03	Unité aquifère de l'entité karstique de la Burle (Causse de Sauveterre)	1	5	1	3	2	
					010K05	Unité aquifère de l'entité karstique de l'Angle (Causse de Sauveterre)	1	5	1	3	2	
					010K07	Unité aquifère de l'entité karstique de Famounet (Causse de Sauveterre)	1	5	1	3	2	
					010K09	Unité aquifère de l'entité karstique de St Chely (Causse de Sauveterre)	1	5	1	3	2	
					010K11	Unité aquifère de l'entité karstique des Fonts (Causse de Sauveterre)	1	5	1	3	2	
					010K13	Unité aquifère de l'entité karstique de St Frézal (Causse de Sauveterre)	1	5	1	3	2	
					010K15	Unité aquifère de l'entité karstique du Golf (Causse de Sauveterre)	1	5	1	3	2	
306A	MORAINES ET FORMATIONS GLACIAIRES	1	4	100	306A01	Unité semi-perméable des moraines et formations glaciaires de l'Aubrac	2	6	2	1	100	Oui (AUV)
329A	ARGILES A GRAVIERS DE L'OLIGO-EOCENE	2	4	200	329A01	Unité imperméable des argiles à graviers de l'Oligocène	2	7	2	0	200	Oui (AUV)
356A	CALCAIRES ET DOLOMIES DE L'AALENEN AU TITHONIEN DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	3	300	356A01	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien au Tithonien dans le Causse Noir - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	Oui (MPY)
					356A03	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien au Tithonien dans le Causse de Massegras- Séverac - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	Oui (MPY)
					356A05	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien au Tithonien dans le Causse de Sauveterre - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	
					356A07	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien au Tithonien dans le Causse de Méjean - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	
					356A09	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien au Tithonien dans le Causse de Marvejols - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	
					356A11	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien à l'Oxfordien dans le Causse de Mende - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	
					356A13	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien dans le Causse des Bondons - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	
					356A15	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien au Bathonien dans le Can de l'Hospitalet - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	
					356A17	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Aalénien au Bajocien dans le Causse du Bleymard - Système des Grands Causses	2	5	3	3	300	

358A	MARNES DU PLIENSBACHIEN AU TOARCIEN DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	4	400	358A01	Unité imperméable des marnes du Pliensbachien au Toarcien dans la région des Grands Causses	2	7	3	0	400	Oui (MPY)
360A	GRES ET CALCAIRES DU LIAS INFÉRIEUR DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	3	500	360A01	Unité aquifère des dolomies et calcaires de l'Hettangien au Carixien dans les Causses de Séverac et de Masegros - Système des Grands Causses	2	5	3	3	500	Oui (MPY)
					360A03	Unité aquifère des dolomies et calcaires de l'Hettangien au Carixien dans le Causse Noir - Système des Grands Causses	2	5	3	3	500	Oui (MPY)
					360A05	Unité aquifère des dolomies et calcaires de l'Hettangien au Carixien dans le Causse de Sauveterre - Système des Grands Causses	2	6	3	0	500	Oui (MPY)
					360A07	Unité aquifère des grès, calcaires et dolomies de l'Hettangien et du Sinémurien dans le Causse de Méjean - Système des Grands Causses	2	6	3	0	500	Oui (MPY)
					360A09	Unité aquifère des grès, calcaires et dolomies de l'Hettangien au Carixien dans le Causse de Marvejols - Système des Grands Causses	2	6	3	0	500	
					360A11	Unité aquifère des grès, calcaires et dolomies de l'Hettangien au Carixien dans le Causse de Mende - Système des Grands Causses	2	5	3	3	500	
					360A13	Unité aquifère des calcaires et dolomies de l'Hettangien au Carixien dans le Causse des Bondons - Système des Grands Causses	2	5	3	3	500	
					360A15	Unité aquifère des grès, calcaires et dolomies l'Hettangien au Carixien dans le Can de l'Hospitalet - Système des Grands Causses	2	5	3	3	500	
					360A17	Unité aquifère des calcaires et dolomies Hettangien au Carixien dans le Causse du Bleymard - Système des Grands Causses	2	6	3	4	500	
362A	MARNES, ARGILITES ET GRES DU TRIAS DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	4	600	362A01	Unité Semi-perméable des Marnes, Argilites et Grès du Trias dans le Système des Grands Causses	2	6	3	4	600	Oui (MPY)
364A	GRES ET CONGLOMERATS DU PERMIEN DANS LE SYSTEME DES GRANDS CAUSSES	2	3	700	364A01	Unité aquifère des grès et conglomérats permien à passées silto-pelitiques dans le bassin de Rodez	2	5	3	4	700	Oui (LRO)

VOLCANISME

Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Etat	Milieu	Ordre	Inter-régional
450A	Formations volcaniques miocènes de l'Aubrac du bassin versant de la Truyère et du Lot	5	5	10	450A01	Unité aquifère des formations volcaniques miocènes de l'Aubrac du bassin versant du Bès	5	5	3	4	10	Oui (Auvergne et MPY)
					450A03	Unité aquifère des formations volcaniques miocènes de l'Aubrac du bassin versant du Lot et la Colagne et la Truyère	5	5	3	4	10	

Annexe 2- Tableau multi-échelles du thème "Socle"

NV1						NV2					
Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Inter-régional	Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Inter-Régional
477	Formations de socle du Sud du Massif Central dans le bassin Adour-Garonne	3	2	5000	Oui	477A	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de la Truyère de la Ribeyre au confluent du Bes	3	3	5000	
						477F	Granites de la Margeride dans le BV du Bès	3	3	5000	Oui (Auvergne)
						477G	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de la Truyère de sa source au confluent de la Ribeyre (incluse)	3	3	5000	
						477H	Formations cristallines et métamorphiques dans le B.V. du Lot de sa source à la Colagne	3	4	5000	
						477I	Granites, Gneiss et Micaschistes de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. du Lot de la Colagne au confluent de la Truyère	3	4	5000	
478	Schistes, Micaschistes et Granites de l'Aigoual, Cévennes et Mont Lozère dans le BV du Tarn	3	2	5000		478A	Schistes, Micaschistes et Granites de l'Aigoual, Cévennes et Mont Lozère dans le BV du Tarn	3	4	5000	Oui (MPY)
280	Granites de la Margeride dans le basin Loire-Bretagne	3	2	5000		280J	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de l'Allier de sa source au Chapeauroux (nc) - Bassin LB	3	4	5000	
						280I	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. du Chapeauroux (Allier) - Bassin LB	3	3	5000	
						280H	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de l'Allier du Chapeauroux (nc) à la Desges - Bassin LB	3	3	5000	
571	Formations cristallines et métamorphiques dans le bassin du Rhône, de l'Ardèche incluse à l'Ouvèze	3	2	5000		571B	Formations cristallines et métamorphiques (Schistes, Granites) des Cévennes dans le B.V. de la Cèze. Bassin RM	3	4	5000	
						571A	Formations cristallines et métamorphiques (Schistes, Granites) des Cévennes dans le B.V. de l'Ardèche. Bassin RM	3	4	5000	
572	Formations cristallines et métamorphiques dans le bassin du Rhône, de la Durance à la mer Méditerranée	3	2	5000		572A	Formations cristallines et métamorphiques (Schistes, Granites) des Cévennes dans le B.V. des Gardons. Bassin RM	3	4	5000	

NV2					NV3							
Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Ordre	Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Etat	Milieu	Ordre	Inter-régional
477A	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de la Truyère de la Ribeyre au confluent du Bes	3	3	5000	477A01	Unité aquifère des granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de la Truyère de la Ribeyre au confluent du Bes	3	5	2	4	5000	
477F	Granites de la Margeride dans le BV du Bès	3	3	5000	477F01	Unité aquifère des granites de la Margeride dans le BV du Bès du confluent du Rioumau au confluent de la Truyère	3	5	2	4	5000	Oui (Auvergne)
					477F03	Unité aquifère des granites de la Margeride dans le BV du Bès de sa source au confluent du Rioumau	3	5	2	4	5000	
477G	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de la Truyère de sa source au confluent de la Ribeyre (incluse)	3	3	5000	477G01	Unité aquifère des granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de la Truyère de sa source au confluent de la Ribeyre (incluse)	3	5	2	4	5000	
477H	Formations cristallines et métamorphiques dans le B.V. du Lot de sa source à la Colagne	3	4	5000	477H01	Unité semi-perméable des granites, gneiss et micaschistes de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. du Lot de sa source à la Colagne	3	6	2	4	5000	
					477H03	Unité semi-perméable des schistes, micaschistes et granites de l'Aigoual, Cévennes et Mont Lozère dans le B.V. du Lot de sa source à la Colagne	3	6	2	4	5000	
477I	Granites, Gneiss et Micaschistes de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. du Lot de la Colagne au confluent de la Truyère	3	4	5000	477I01	Unité semi-perméable des granites, gneiss et micaschistes de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. du Lot de la Colagne au confluent de la Truyère	3	6	2	4	5000	
478A	Schistes, Micaschistes et Granites de l'Aigoual, Cévennes et Mont Lozère dans le BV du Tarn	3	4	5000	478A01	Unité semi-perméable des granites du Mont Aigoual, schistes et coornéennes des Cévennes dans BV du Tarn	3	6	2	4	5000	Oui (MPY)
					478A03	Unité aquifère des granites du Mont Lozère dans le bassin versant du Tarn	3	5	2	4	5000	
					478A05	Unité imperméable des schistes des Cévennes et du Mont Aigoual dans le bassin versant du Tarn	3	7	2	2	5000	
280J	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de l'Allier de sa source au Chapeauroux (nc) - Bassin LB	3	4	5000	280J01	Unité aquifère des granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de l'Allier de sa source au Chapeauroux (nc)	3	5	2	4	5000	
					280J03	Unité imperméable des schistes et micaschistes (métamorphisme) de Labastide-Langogne dans le B.V. de l'Allier	3	7	2	2	5000	
280I	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. du Chapeauroux (Allier) - Bassin LB	3	3	5000	280I01	Unité aquifère des granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. du Chapeauroux (Allier)	3	5	2	4	5000	
280H	Granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de l'Allier du Chapeauroux (nc) à la Desges - Bassin LB	3	3	5000	280H01	Unité aquifère des granites de la Margeride, Aubrac et Gévaudan dans le B.V. de l'Allier du Chapeauroux (nc) à la Desges (c)	3	5	2	4	5000	
571B	Formations cristallines et métamorphiques (Schistes, Granites) des Cévennes dans le B.V. de la Cèze. Bassin RM	3	4	5000	571B01	Unité semi-perméable des formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de la Cèze	3	6	2	4	5000	
571A	Formations cristallines et métamorphiques (Schistes, Granites) des Cévennes dans le B.V. de l'Ardèche. Bassin RM	3	4	5000	571A01	Unité imperméable des schistes et micaschistes (métamorphisme) de Labastide-Langogne dans le B.V. de l'Ardèche	3	7	2	2	5000	
					571A03	Unité semi-perméable des formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de l'Ardèche	3	6	2	4	5000	
572A	Formations cristallines et métamorphiques (Schistes, Granites) des Cévennes dans le B.V. des Gardons. Bassin RM	3	4	5000	572A01	Unité imperméable des formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. des Gardons	3	7	2	2	5000	

Annexe 3 - Caractérisation lithologique des entités de socle

Code_Niv3	LITHOLOGIE	Superficie litho (km2)	Superficie Entité (km2)	Part Litho (%)
477H01	alluvions	90.1	847.0	10.6
	calcaire	203.1	847.0	24.0
	calcaire dolomitique	15.1	847.0	1.8
	colluvions	20.8	847.0	2.5
	dolomie	37.5	847.0	4.4
	gneiss	56.5	847.0	6.7
	granite	277.3	847.0	32.7
	marne (33%<CO3<66%)	38.3	847.0	4.5
	sable	17.5	847.0	2.1
	schiste	72.3	847.0	8.5
477H03	alluvions	17.5	235.8	7.4
	calcaire	46.9	235.8	19.9
	calcaire dolomitique	6.6	235.8	2.8
	cornéenne	3.2	235.8	1.3
	dolomie	11.8	235.8	5.0
	granite	59.3	235.8	25.1
	marne (33%<CO3<66%)	16.7	235.8	7.1
	schiste	35.5	235.8	15.1
	schiste noir	33.6	235.8	14.2
280J01	alluvions	13.7	78.5	17.4
	argile	3.1	78.5	3.9
	granite	58.6	78.5	74.7
	schiste	1.6	78.5	2.1
280J03	alluvions	12.4	146.1	8.5
	basalte	1.9	146.1	1.3
	gneiss	44.8	146.1	30.7
	gneiss migmatitique	12.4	146.1	8.5
	leptynite	15.3	146.1	10.5
	micaschiste	6.3	146.1	4.3
	schiste	49.0	146.1	33.6
280I01	alluvions	62.2	388.7	16.0
	calcaire	10.5	388.7	2.7
	gneiss	9.9	388.7	2.5
	granite	297.0	388.7	76.4
280H01	alluvions	4.9	107.8	4.6
	colluvions	1.7	107.8	1.6
	gneiss	5.7	107.8	5.3
	granite	93.2	107.8	86.4
	microgranite	2.3	107.8	2.1

478A01	alluvions	9.0	172.9	5.2
	calcaire	12.2	172.9	7.0
	colluvions	1.8	172.9	1.0
	cornéenne	38.4	172.9	22.2
	dolomie	14.4	172.9	8.4
	granite	34.9	172.9	20.2
	grès	3.1	172.9	1.8
	marne (33%<CO3<66%)	5.3	172.9	3.0
	schiste	27.4	172.9	15.9
	schiste noir	22.4	172.9	13.0
478A03	alluvions	8.1	183.3	4.4
	granite	150.2	183.3	82.0
	grès	2.7	183.3	1.5
	schiste	3.9	183.3	2.1
	schiste noir	14.9	183.3	8.1
478A05	alluvions	27.6	800.7	3.4
	calcaire	299.0	800.7	37.3
	calcaire dolomitique	19.6	800.7	2.4
	colluvions	48.7	800.7	6.1
	dolomie	209.2	800.7	26.1
	marne (33%<CO3<66%)	25.0	800.7	3.1
	schiste	81.3	800.7	10.2
	schiste noir	69.6	800.7	8.7
477I01	alluvions	7.8	341.1	2.3
	basalte	14.6	341.1	4.3
	calcaire	71.0	341.1	20.8
	calcaire dolomitique	18.3	341.1	5.4
	colluvions	24.6	341.1	7.2
	conglomérat	3.7	341.1	1.1
	dolomie	85.2	341.1	25.0
	gneiss	7.3	341.1	2.1
	granite	4.9	341.1	1.4
	grès	6.5	341.1	1.9
	marne (33%<CO3<66%)	14.7	341.1	4.3
	méta-diorite	6.6	341.1	1.9
	sable	5.3	341.1	1.5
	schiste	65.9	341.1	19.3
477G01	alluvions	51.7	720.1	7.2
	argile	25.9	720.1	3.6
	basanite	8.1	720.1	1.1
	colluvions	19.3	720.1	2.7
	granite	596.3	720.1	82.8

477A01	alluvions	1.0	21.2	4.6
	colluvions	1.0	21.2	4.6
	granite	19.1	21.2	89.8
477F01	alluvions	26.3	158.3	16.6
	colluvions	15.0	158.3	9.5
	gneiss	3.8	158.3	2.4
	granite	110.3	158.3	69.7
477F03	alluvions	71.4	154.8	46.1
	basalte	45.7	154.8	29.5
	basanite	3.9	154.8	2.5
	colluvions	9.5	154.8	6.1
	gneiss	2.1	154.8	1.3
	granite	20.6	154.8	13.3
571A01	alluvions	1.1	60.0	1.9
	calcaire	9.2	60.0	15.3
	gneiss	9.4	60.0	15.6
	gneiss migmatitique	6.8	60.0	11.3
	granite	2.7	60.0	4.5
	leptynite	4.4	60.0	7.3
	marne (33%<CO3<66%)	3.0	60.0	5.0
	micaschiste	4.8	60.0	7.9
	sable	1.5	60.0	2.6
	schiste	15.9	60.0	26.5
571A03	alluvions	5.1	256.6	2.0
	calcaire	6.1	256.6	2.4
	granite	71.1	256.6	27.7
	grès	4.3	256.6	1.7
	marne (33%<CO3<66%)	3.1	256.6	1.2
	quartzite	5.8	256.6	2.2
	schiste	132.4	256.6	51.6
	schiste noir	23.9	256.6	9.3
571B01	alluvions	2.5	67.7	3.7
	granite	27.8	67.7	41.1
	quartz	0.8	67.7	1.3
	schiste	27.7	67.7	40.9
	schiste noir	7.6	67.7	11.2
572A01	calcaire	6.8	360.9	1.9
	cornéenne	3.7	360.9	1.0
	gneiss	8.2	360.9	2.3
	schiste	223.8	360.9	62.0
	schiste noir	105.9	360.9	29.4

Annexe 4 - Méthodologie de délimitation des entités hydrogéologiques en domaine de socle

La méthodologie de délimitation des entités en domaine de socle, exposée dans le guide méthodologique (Rapport BRGM RP 52261 - 2003) n'est pas applicable dans toutes les régions: peu de données, morcellement des formations, cartes non harmonisées ou manquantes. Pour pallier ces difficultés, une méthode a été proposée. Elle permet aussi d'avoir une homogénéité du découpage au niveau national.

Cette méthode, décrite au § 3.4 de cette annexe, peut être appliquée sur l'ensemble du territoire. Elle consiste à subdiviser les BV-Entités de niveau 2 en sous bassins (Sous-Secteurs ou Zones-Hydro BD-Carthage) et à les caractériser en fonction des données disponibles (lithologie, hydrogéologie). Proposée pour les régions Limousin et Auvergne, elle peut être reprise sans difficulté (et rapidement) pour les régions qui ont suivi (ou suivent) la méthodologie générale (Pays de Loire, Bretagne, Normandie), sans perdre le bénéfice du travail déjà réalisé. Elle est applicable aussi pour les régions MPY (entités NV3 constituées sur une base lithologique), en Alsace et en Lorraine.

On rappelle d'abord les grandes lignes de la méthodologie (rapport RP 52261- 2003) et son application à deux départements de la région Pays-de-la-Loire (49 et 72). On présente aussi le travail fait en MPY.

1. Entités NV1

D'après le guide méthodologique:

"Le découpage est réalisé en suivant les bassins versants des grands cours d'eau. On regroupera éventuellement les petits bassins côtiers en ensembles. 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).

Délimiter les bassins versants à partir de la BD-Carthage sur la base de la région hydrographique ou du secteur".

2. Entités NV2

D'après le guide méthodologique:

"Quatre étapes sont prévues dans la méthodologie... Elles nécessitent des données de débit en nombre suffisant (stations de jaugeages bien réparties, historiques de mesures d'une demi-douzaine d'années au moins) et un état des connaissances hydrologiques permettant de savoir si la relation débit d'étiage - état des ressources est valide :

- *découpage en NV2 par subdivision du découpage national 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)"*

En fait, souvent, le premier critère seul sera applicable, faute de données.

• Application en Pays-de-la-Loire (RP 56954, Mars 2009)

Etape 1: première sélection

Les sous-bassins hydrologiques situés dans les bassins NV1 (sous-secteurs hydrographiques BD-Carthage) 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 identiques (exemples : Sèvre Nantaise, Loir, Loire, Mayenne, Sarthe).

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

Etape 2: prise en compte des débits spécifiques

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

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.

Etape 3: affectation d'un QES aux bassins

Un QES a pu être affecté aux 37 (sur 38) bassins NV2 renseignés: 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).

Etape 4: regroupement suivant QES

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 (illustrations 1 et 2)

3. Entités NV3

3.1. Critères du guide méthodologique

Dans le guide méthodologique (RP 52261- 2003, page 34):

1) Premier critère de découpage des NV3 : **l'épaisseur d'altérites et du milieu fracturé.**

"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".

Ce n'est pas toujours possible, comme mentionné par exemple dans le rapport de restitution du travail fait dans les départements 49 et 72 (RP 56954, Mars 2009, page 65).

Les altérites, lorsqu'elles sont cartographiées, seront extraites des cartes géologiques et intégrées comme "entités complémentaires" dans la surcouche du référentiel.

2) 2^{ème} critère de découpage: **les grandes classes lithologiques**

Critères indirects d'altération et de qualité hydrogéologique des altérites et de l'horizon fissuré. C'est le critère le plus susceptible d'être utilisé.

3) 5^{ème} critère : **le débit spécifique des forages**

si les données sont en nombre suffisants pour faire une étude statistique.

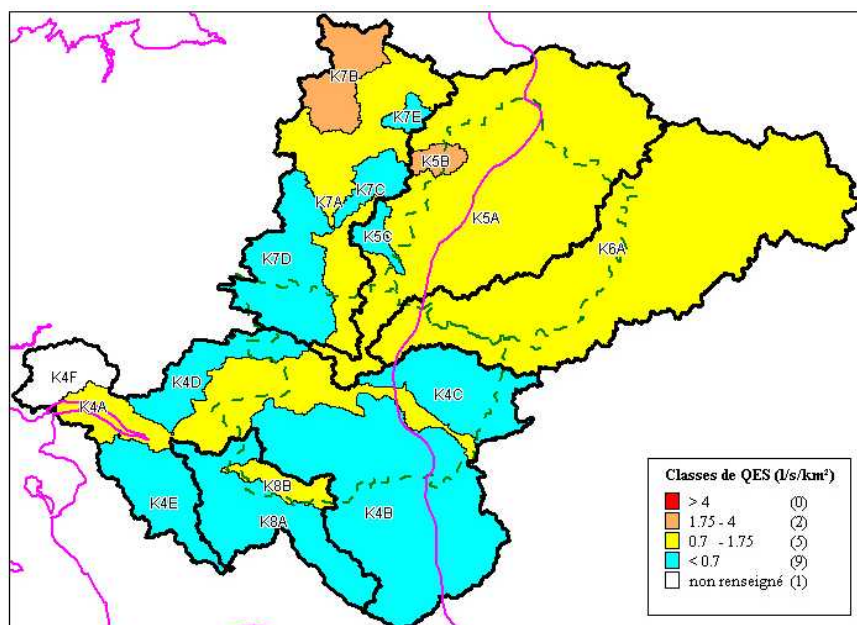


Illustration 1 - Classement des entités selon les valeurs de QES
(17 entités NV2 après assemblage)

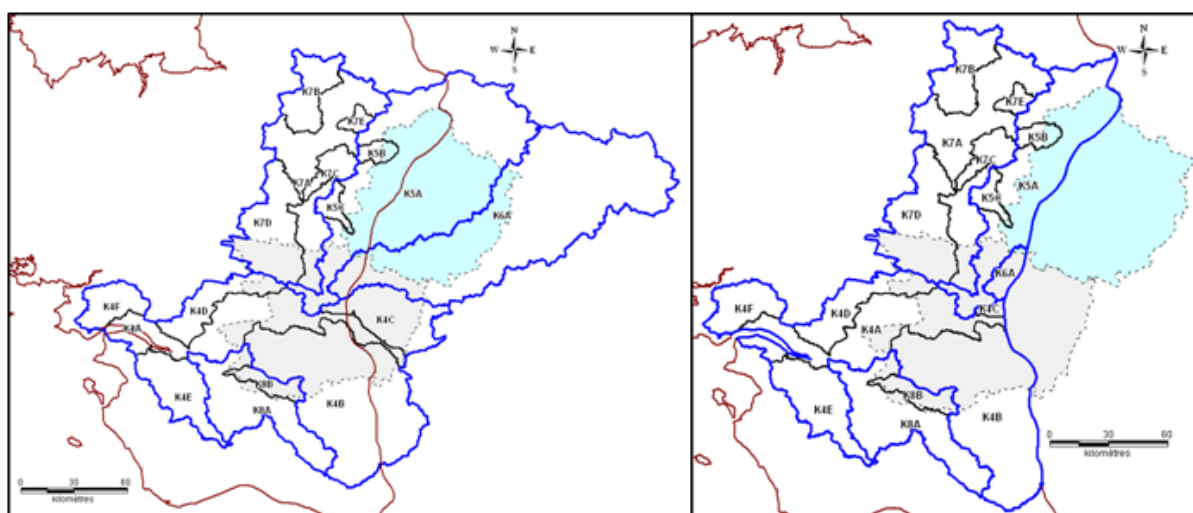


Illustration 2 - Entités de Socle de niveau NV2
(avant et après découpage grossier avec la limite des formations sédimentaires)

3.2. Exemple en Pays-de-la-Loire (RP 56954, Mars 2009)

1) Recensement et caractérisation des formations géologiques (cartes au 1/250 000)

Ont été recensées 70 formations géologiques appartenant à 21 ensembles lithostratigraphiques et tectono-métamorphiques.

Sur la base d'une **analyse statistique du débit des forages**, 34 entités géologiques (au 1/250 000) ont été retenues, caractérisées par leur nature aquifère ou pas.

2) Cartographie au 1/50 000 de ces entités géologiques

Les traitements précédents ont utilisé les contours géologiques au 1/250 000. "En effet, seule cette carte synthétique permet d'avoir des formations géologiques interrégionales"...

" 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.....

De ce traitement résultent 34 entités géologiques à 1/50 000 " (illustration 3)

3) Délimitation des entités NV3

Par intersection des 34 entités géologiques à 1/50 000 et des 12 bassins versants issus des entités NV2 (illustration 4).

3.3. Exemple en Midi-Pyrénées (rapport RP-56952-FR, page 47)

Il n'est pas toujours possible de suivre la méthodologie décrite ci-dessus et appliquée en Pays-de-la-Loire, faute de données et/ou de cartes harmonisées. En MPY, les entités ont été définies uniquement sur des critères lithologiques. La démarche suivie est décrite ci-dessous.

"Pour la délimitation des unités de niveau NV3, les étapes suivantes ont été suivies :

- distinction de trois classes lithologiques au sein des formations de socle,
- inventaire des formations géologiques appartenant à ces trois grands ensembles constituant le système à découper,
- extraction des polygones correspondant aux formations affleurantes des trois ensembles lithologiques,
- regroupement et fusion des polygones constitutifs de chaque entité,

redécoupage des systèmes par les bassins versants NV2 (**sous secteurs de la BD Carthage**), aboutissant à 21 entités NV3.

Les trois classes lithologiques principales distinguées au sein des formations de socle en région Midi-Pyrénées) sont les suivantes:

- les **ensembles granitiques**, considérés comme des unités aquifères en raison de la nature généralement perméable des produits d'altération résultant (de type arène granitique),
- les **ensembles cristallophylliens** (schistes, gneiss), considérées comme semi-perméables en raison de la nature globalement argileuse des produits d'altération résultant,
- le **domaine dit des "Monts de Lacaune"** situé dans la zone septentrionale de la Montagne noire. Il correspond à une succession complexe de séries schisto-pélitiques, schisto-gréseuses et de formations carbonatées. Une karstification importante pourrait être associée à ces dernières."

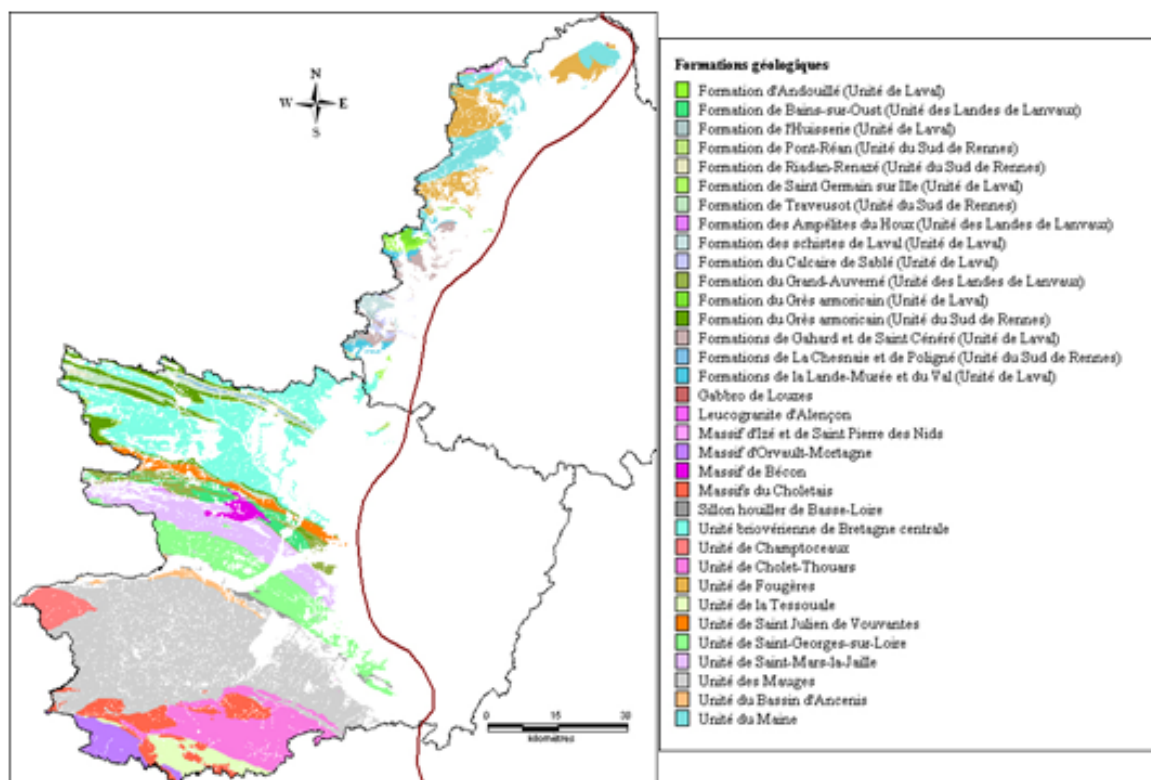


Illustration 3 – 34 entités géologiques au 1/50 000 dans les départements 49 et 72

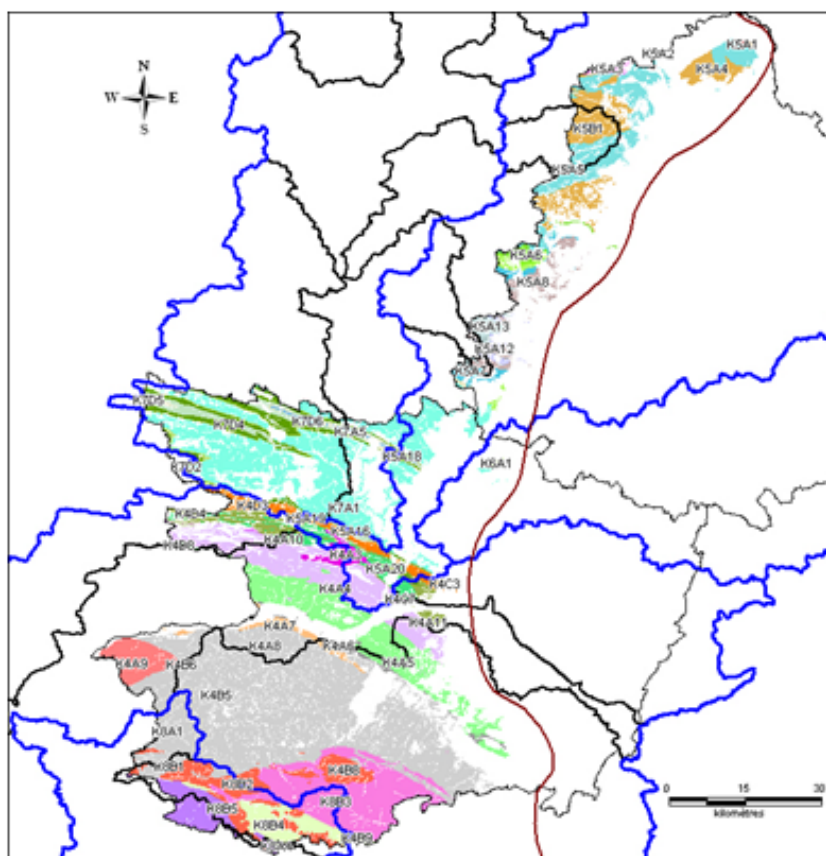


Illustration 4 – 91 entités hydrogéologiques NV3 dans les départements 49 et 72
(intersection entités géologiques ci-dessus) par BV NV2)

"La diversité des modes de formation des ensembles géologiques cartographiés (intrusions magmatiques, métamorphisme de contact, métamorphisme HP-HT, etc.) conduit à une complexité structurale sur toutes les zones de socle. La délimitation des ensembles est difficilement réalisable en pratique. Des formations cristallophylliennes peuvent ainsi être présentes au sein des unités granitiques et inversement. Les entités ont donc été délimitées en prenant en compte les dominantes lithologiques.

La méthodologie adoptée présente l'intérêt de délimiter des systèmes potentiellement aquifères par la prise en compte combinée d'indices lithologiques et de limites de bassins versant.

Cette méthode d'appréciation des potentialités aquifères des zones de socle présente toutefois des limites. Les formations granitiques peuvent en effet être associées à des altérites peu perméables tandis que les formations schisteuses et gneissiques peuvent être localement associées à des altérites perméables et capacitives (dépendant en partie de l'orientation de la schistosité et de la foliation).

Par ailleurs, la prise en compte locale d'intrusions filoniennes au sein de formations schisteuses pourrait indiquer la présence d'aquifères. Ce critère n'a pas été pris en compte en raison de la complexité géologique associée et du manque de données souligné au niveau local. De même, d'autres particularités géologiques locales donnent souvent lieu à la formation de petits aquifères indépendants dont l'extension limitée ne permet pas de définir une unité de niveau NV3".

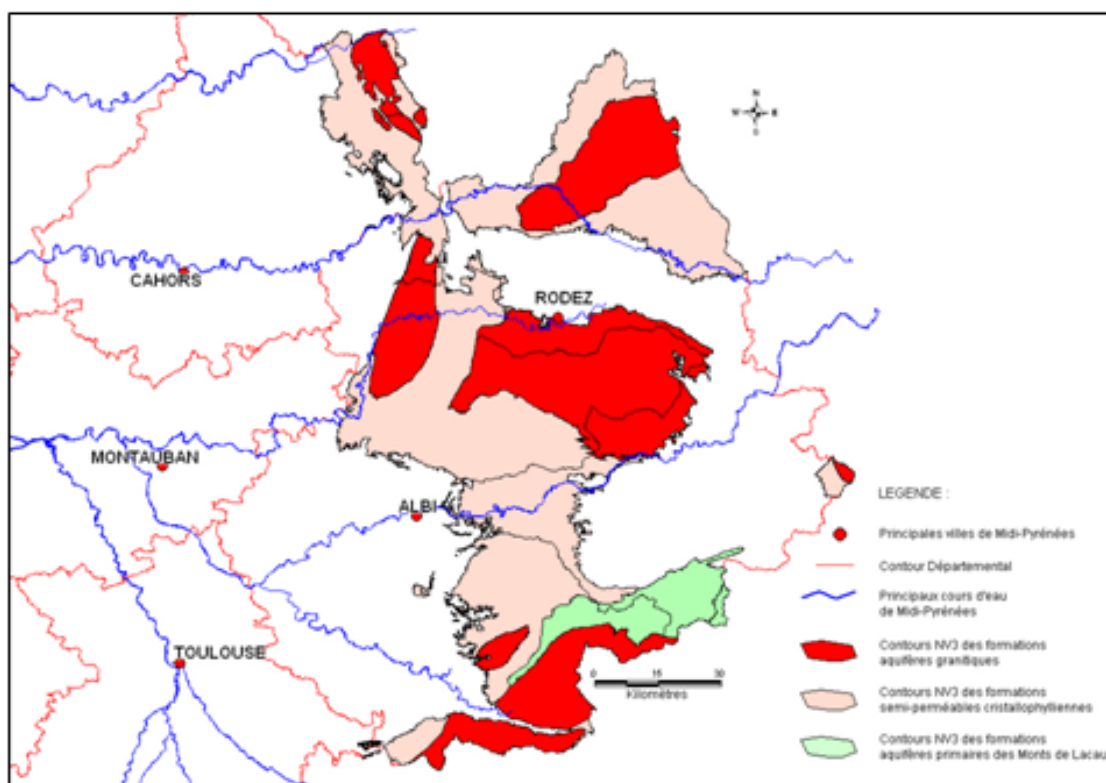


Illustration 5 – Entités NV3 de socle en MPY

3.4. Démarche proposée pour aboutir à un découpage du socle (relativement) homogène à l'échelle du territoire.

Proposition: découper en bassins versants Carthage (sous-secteurs ou zones hydrographiques et injecter l'information hydrogéologique dans les bassins (En général des "sous-secteurs" de la BD-Carthage).

Démarche

Après analyse lithologique (ou hydrogéologique si les données sont suffisantes) et regroupement en classes lithologiques (ou de perméabilité, type 5, 6 ou 7 du guide méthodologique), on peut procéder comme suit:

- 1) Intersection des regroupements avec **(selon les cas)** les zones hydrographiques (ZH) ou sous-secteurs (SSH) BD_Carthage (illustration 6). Utilisation de l'outil "Intersecter" des " Tools" ArcGis (" Analysis tools ")
- 2) sélection d'une classe de perméabilité (ou d'une lithologie) dans la table précédente (illustration 7):
 - imperméable (code 7)
 - semi-perméable (code 6)
 - perméable (code 5)
- 3) Opération de "récapitulation" par zone hydrographique (puisque plusieurs polygones par zone). On obtient ainsi une table (non géométrique) par classe de perméabilité (ex: nature_7, nature_6, nature_5).
- 4) 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 10 ("*Entités_BV_nature*"), avec dans chaque bassin le % des types de perméabilité (des polygones étant non renseignés, on n'atteint pas toujours les 100%).

Comme le montre l'illustration 8, on voit qu'il est possible de regrouper certains BV ZH (dans l'exemple, les BV ZH contigus ayant plus de 55% du socle classés en "imperméable")

Quand il n'y a pas possibilité d'avoir des données hydro permettant de caractériser le degré de perméabilité des formations de socle, on pourra définir des grands ensembles lithologiques comme en MPY : roches plutoniques, roches métamorphiques, ... (à particulariser suivant le contexte local).

Remarque

On peut conserver la table attributaire de l'étape 2 (après intersection) et y introduire le code entité NV3 (illustration 7).

Intérêt de cette table attributaire: on y trouve toute l'information de détail. Elle peut être intégrée au référentiel comme table dérivée.

Voir les illustrations 8, 9 et 10.

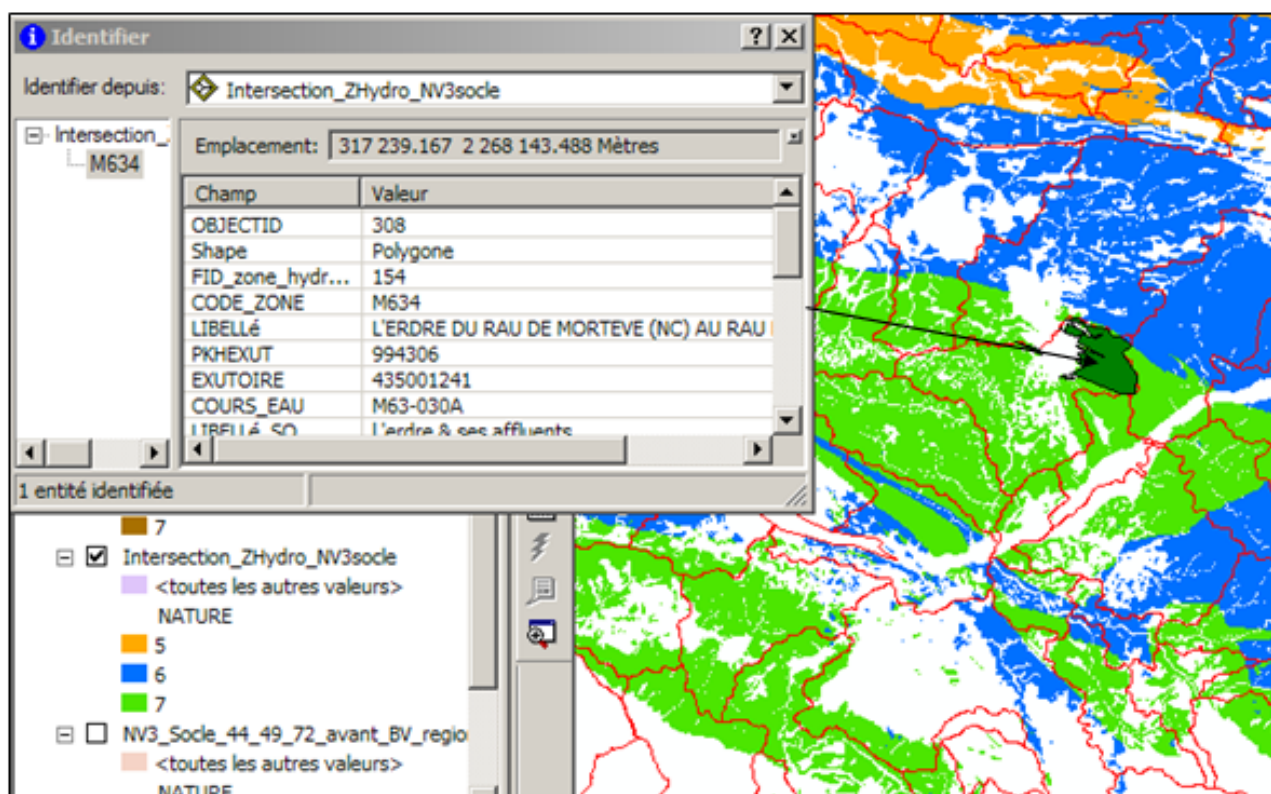


Illustration 6 - Intersection zones hydrographiques BDCartage avec entités définies suivant méthodologie générale (exemple départements 49 et 72)

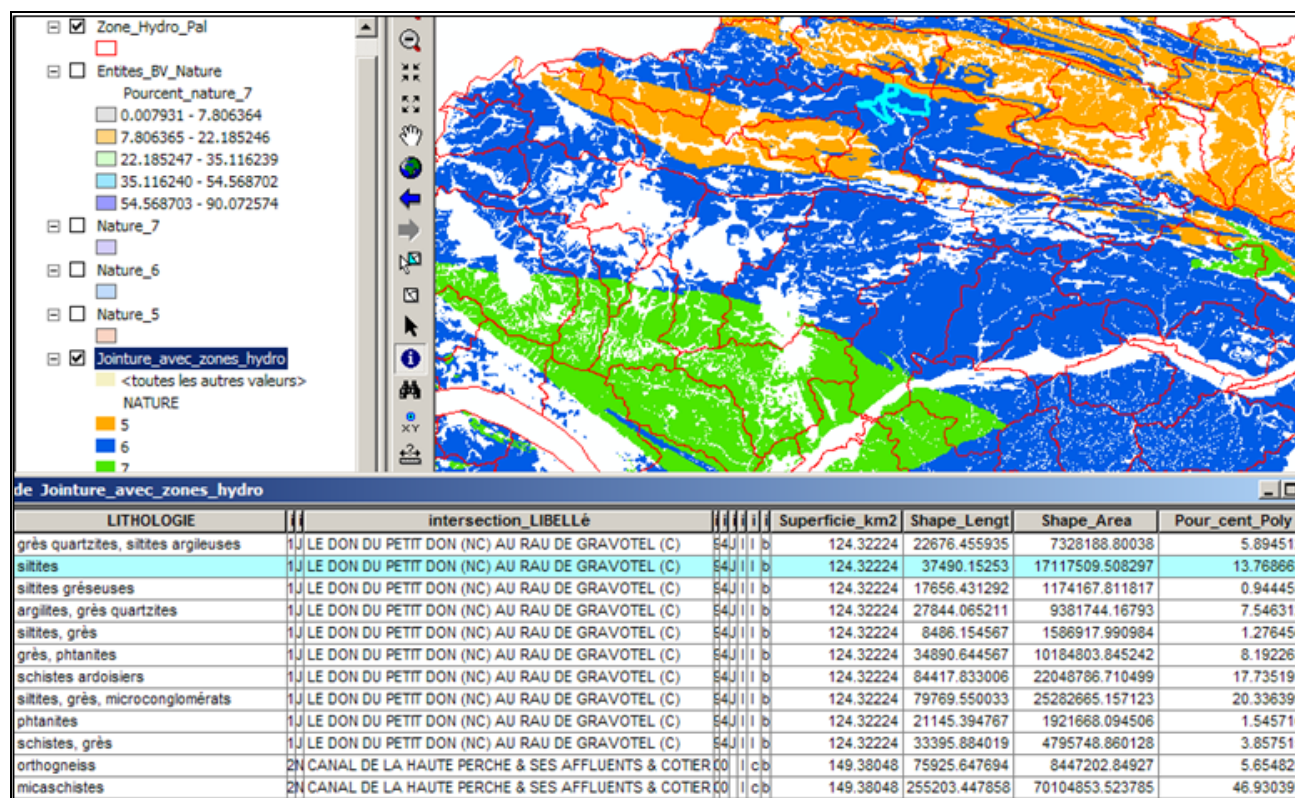


Illustration 7 - Calcul du pourcent d'occupation des types de lithologie dans chaque polygone élémentaire des zones hydrographiques

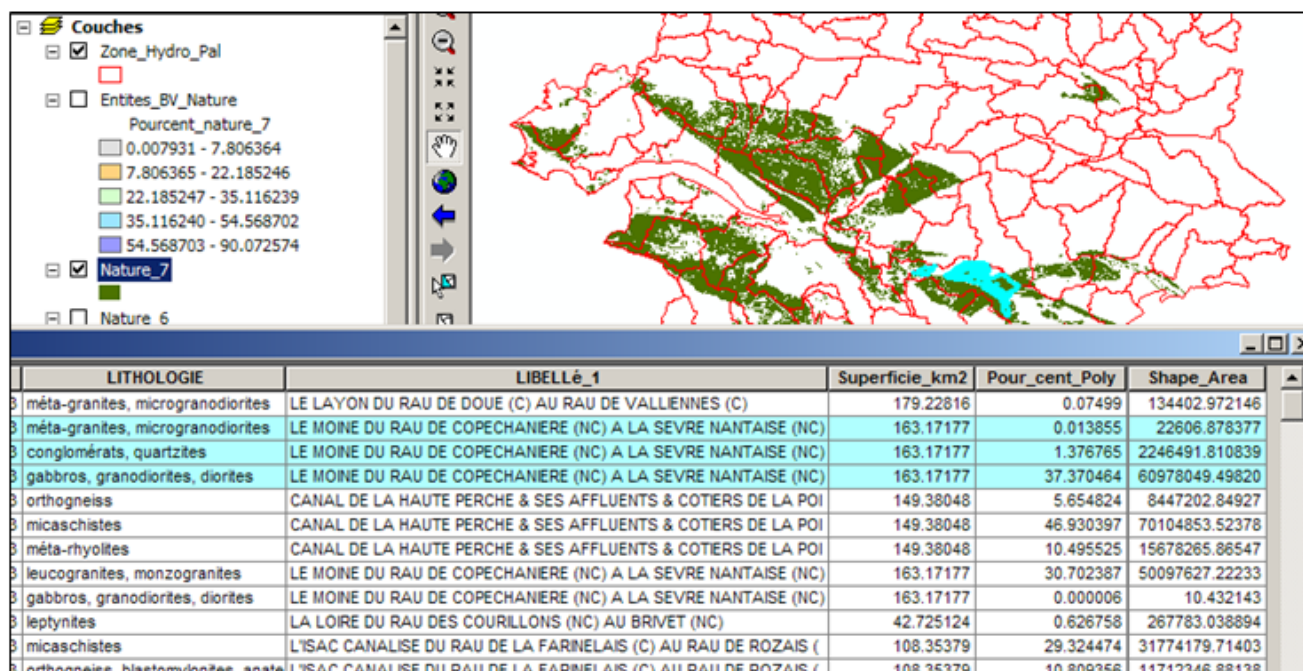


Illustration 8 – Sélection d'une classe de perméabilités

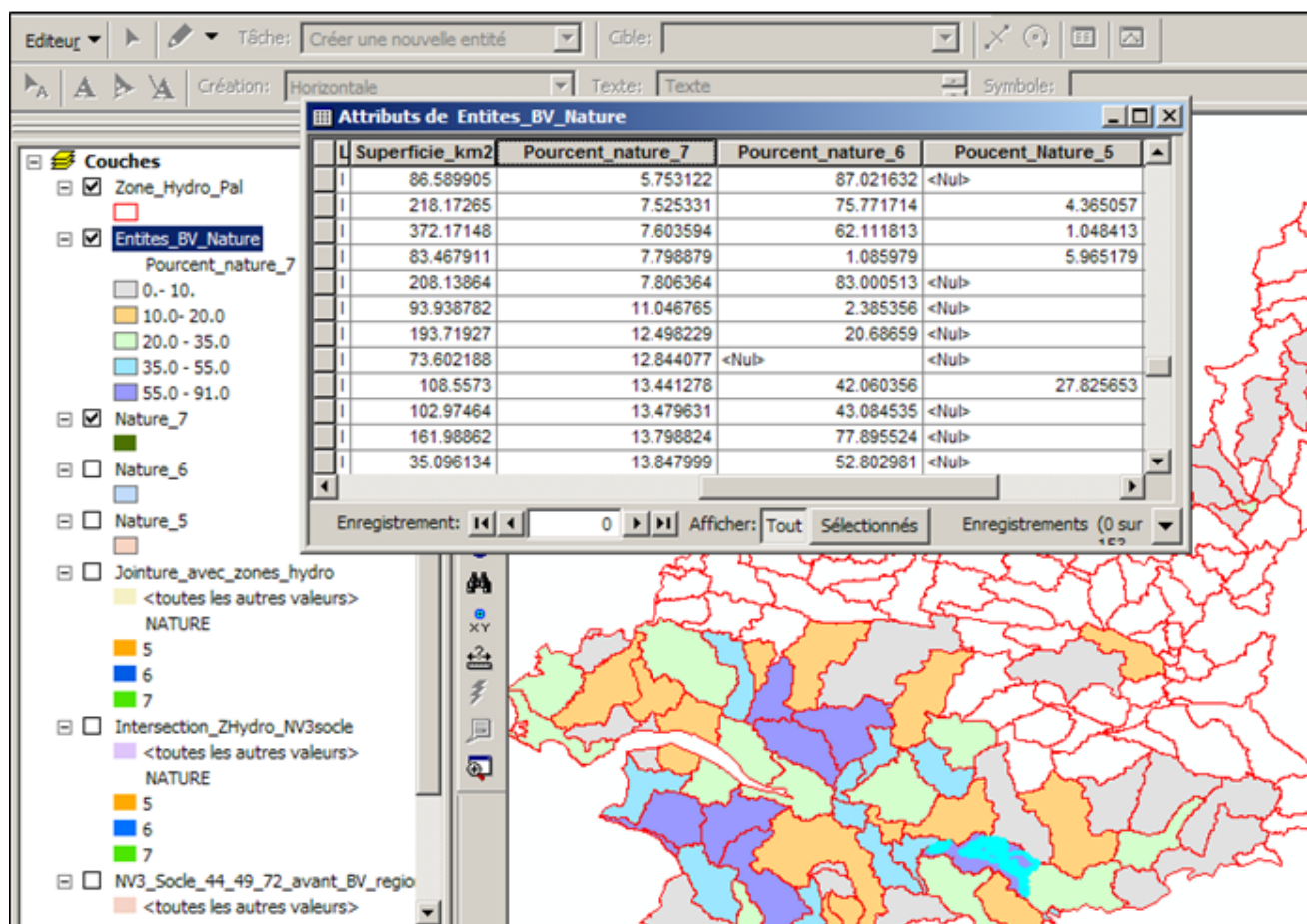


Illustration 9 – Table après étape 4

Attributs de Jointure_avec_zones_hydro						
	OBJECTID_12	OBJECTID	Shape *	FID_zone_hydro	CODE_ZONE	LIBE
	1	1	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	2	2	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	3	3	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	4	4	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	5	5	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	6	6	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	7	7	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	8	8	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	9	9	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	10	10	Polygone	3	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
	11	11	Polygone	4	N001	CANAL DE LA HAUTE PERCHE & SES AFFLUENTS & COTIERS D
	12	12	Polygone	4	N001	CANAL DE LA HAUTE PERCHE & SES AFFLUENTS & COTIERS D
	13	13	Polygone	4	N001	CANAL DE LA HAUTE PERCHE & SES AFFLUENTS & COTIERS D
	14	14	Polygone	5	M511	LE LAYON DU RAU DE DOUE (C) AU RAU DE VALLIENNES (C)
	15	15	Polygone	5	M511	LE LAYON DU RAU DE DOUE (C) AU RAU DE VALLIENNES (C)
	16	16	Polygone	5	M511	LE LAYON DU RAU DE DOUE (C) AU RAU DE VALLIENNES (C)

Attributs de Jointure_avec_zones_hydro							
THEME	NATURE	ETAT	MILIEU	NIVEAU	LITHOLOGIE	intersection_CODE_ZONE	CODE_ENTITE
3	6	2	2	3	siltites, grès	J792	100A01
3	6	2	2	3	grès, phanites	J792	100A01
3	6	2	2	3	schistes ardoisiers	J792	100A01
3	5	2	2	3	siltites, grès, microconglomérats	J792	100A01
3	6	2	2	3	phanites	J792	100A01
3	6	2	2	3	schistes, grès	J792	100A01
3	7	2	2	3	orthogneiss	N001	100A01
3	7	2	2	3	micaschistes	N001	100A01
3	7	2	2	3	méta-rhyolites	N001	100A02
3	7	2	2	3	méta-granites, microgranodiorites	M511	100A02
3	6	2	2	3	argilites schisteuses, schistes, grès	M511	100A02
3	6	2	2	3	argilites schisteuses, siltites gréseuses	M511	100A02
3	6	2	2	3	micaschistes, schistes, amphibolites	M511	100A02

Illustration 10 - Introduction d'un code entité après regroupements BV Carthage (ici regroupement des BV J792 et N001, pour donner l'entité 100A1)

Remarque: il s'agit ici juste d'un exemple indépendant de la lithologie

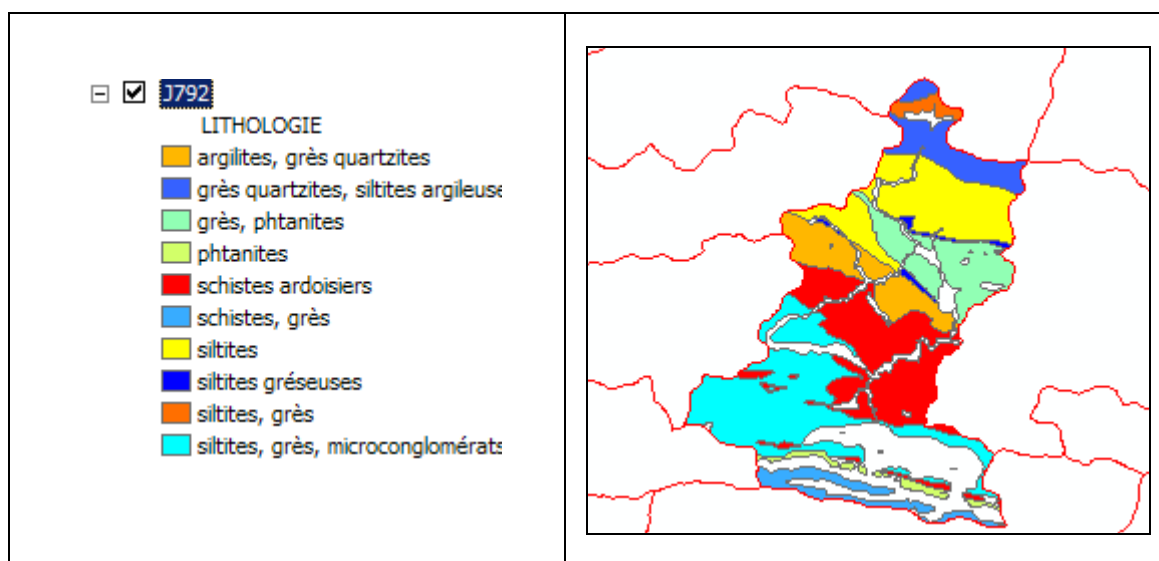


Illustration 11 – Exemple d'un BV-Entité caractérisé par une lithologie
(sélection dans la table attributaire issue de l'étape d'intersection)
(en blanc les polygones non renseignés)

La lithologie est ici bien détaillée mais peut aussi être réduite à quelques grandes classes

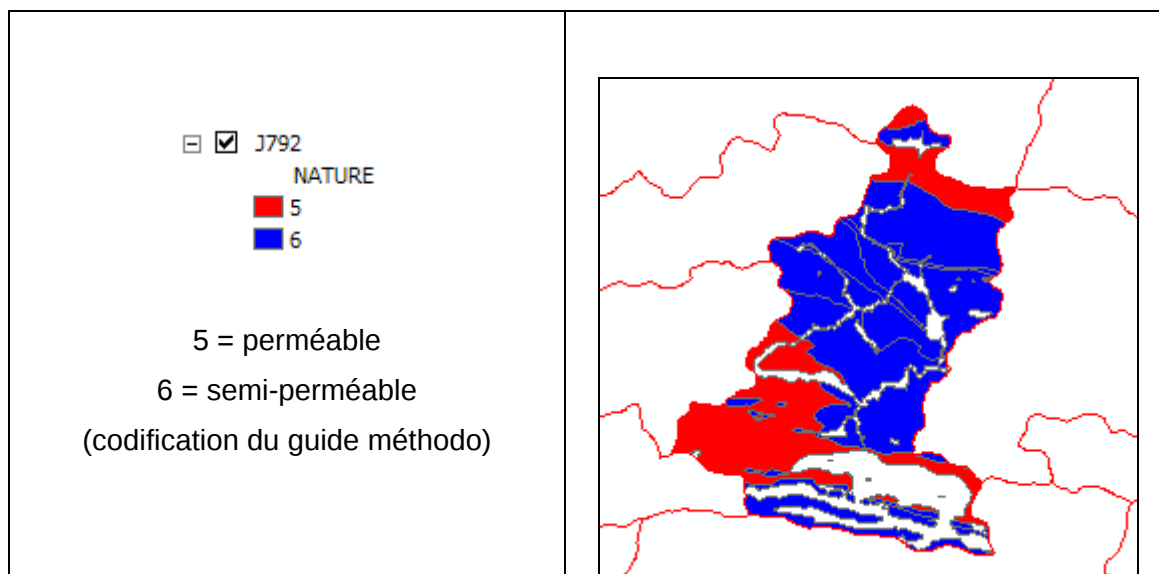


Illustration 12 – Exemple d'un BV-Entité caractérisé par une classe de perméabilité
(sélection dans la table attributaire issue de l'étape 2)
(en blanc les polygones non renseignés)

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

Illustration 13 – Extrait table attributaire du BV-Entité J792

3.5. Autre exemple

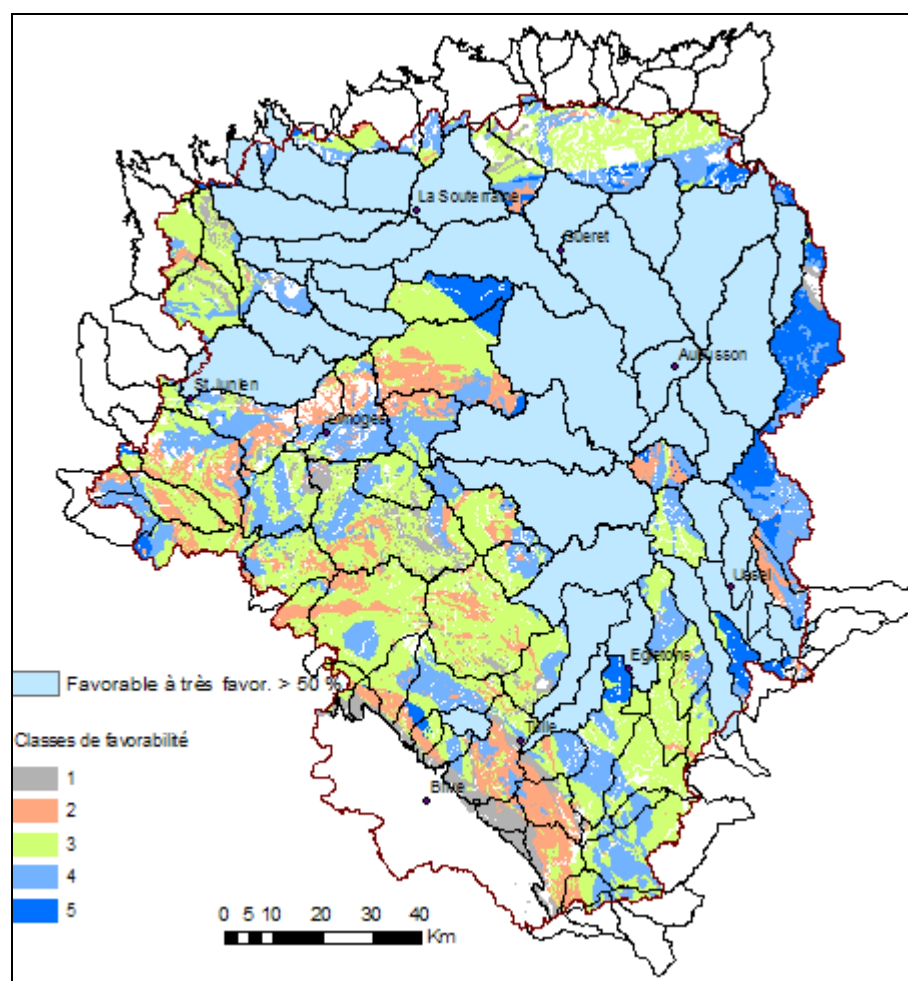
Cet exemple est relatif au socle en région Limousin où les entités NV3 ont pu être caractérisés par un critère "favorabilité" (potentiel aquifère).

Cette caractérisation a été faite avec ArcGis par intersection de la carte du "potentiel aquifère" avec la carte des entités BV-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 15). Les classes de favorabilité 4 et 5 ont été regroupées (favorable à très favorable, équivalent de "nature=5" du guide méthodologique), de même que les classes 1 et 2 (défavorable à peu favorable, équivalent de "nature=7"). La classe de favorabilité 3 (moyennement favorable) peut correspondre quant à elle à "nature=6".



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 15 – Caractérisation des entités de socle par une potentialité aquifère

En résumé:

1) Une table attributaire ainsi construite (qui permet de faire des requêtes du type:

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

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

Lexique Nature

Nature-5 =aquifère (correspondance avec unité aquifère du guide, code 5)

Nature-6 = peu aquifère (correspondance avec unité aquifère du guide, code 6)

Nature-7 = non aquifère (correspondance avec unité aquifère du guide, code 7)

Opérations possibles:

1) sélection des entités où les formations perméables (nature_5) occupent plus de 50 % de la superficie de l'entité" (illustration 15)

2) ou bien caractérisation des entités par le % d'un type de nature (illustration10)

S'il n'est pas possible de caractériser le champ nature, on remplit les champs lithologie.

Code_Entité	Thème	Etat	Milieu	Nature-5 (%)	Nature-6 (%)	Nature-7 (%)	Litho-1 (%)	Litho-2 (%)	...	Litho-5 (%)
E1	3	2	2	<nul>	<nul>	<nul>	45	30		10
E2										

Lexique lithologique. 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

Exemple: l'entité est décomposée en plusieurs polygones en fonction de la lithologie présente cf aussi illustration 14).

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, phanites	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	phanites	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.

Annexe 5 - Lexique de caractérisation des entités et des limites

1. Caractérisation des entités

Dans le référentiel une entité sera caractérisée par les attributs suivants:

l'ordre d'apparition absolu de l'entité, qui est l'ordre du tableau multi-échelles;

le thème d'appartenance de l'entité, parmi 5 possibilités (cf tableau) ;

la nature de l'entité, parmi 7 possibilités (cf tableau ci-dessous) ;

le type de milieu caractérisant l'entité: poreux, fissuré, karstique, double porosité;

l'état hydrodynamique de la nappe contenue dans le réservoir: libre, captive, libre et captive, alternativement libre et captive.

Nouveau code	Code	Libellé
	1	Alluvial
	2	Sédimentaire
	3	Socle
	4	Intensément plissés de montagne
	5	Volcanisme

Thème de rattachement des entités à une formation géologique

Nouveau code	Code	Libellé
	1	Grand système aquifère
	2	Grand Domaine hydrogéologique
	3	Système aquifère
	4	Domaine hydrogéologique
	5	Unité aquifère
	6	Unité semi-perméable
	7	Unité impénétrable

Nature des entités

Nouveau code	Code	Libellé
	0	Inconnu
	1	Milieu poreux
	2	Milieu fissuré
	3	Milieu karstique
	4	Double porosité

PM =porosité matricielle PF=porosité de fissure,....

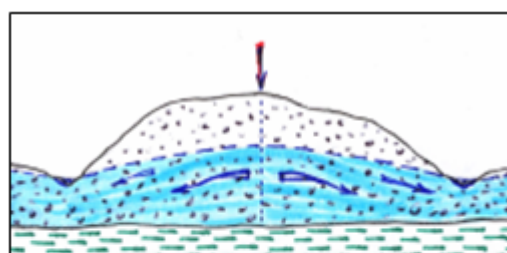
Type de milieu (porosité)

Nouveau code	Code	Libellé
	1	Nappe captive
	2	Nappe libre
	3	Libre et captive
	4	Alternativement libre puis captive

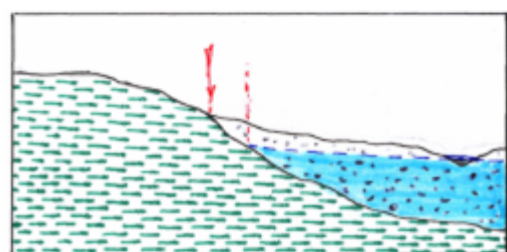
Etat de la nappe

2. Types de limites

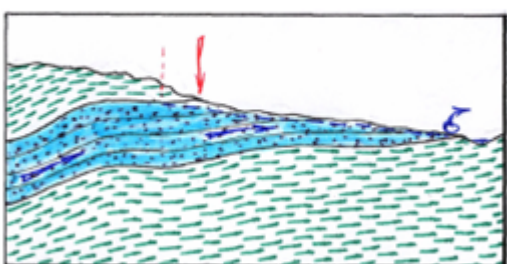
12 types (schémas page suivante) sont définis dans le guide méthodologique



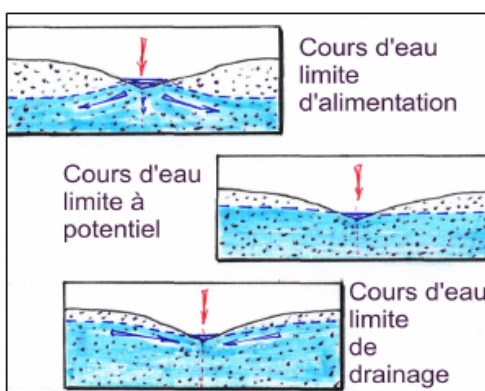
a) Ligne de partage des eaux souterraines



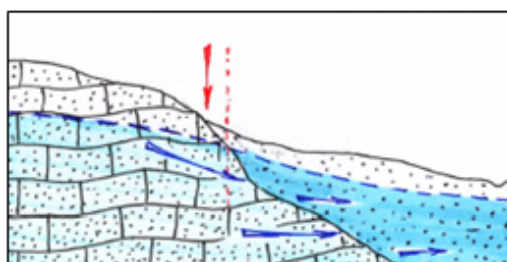
b) Limite étanche



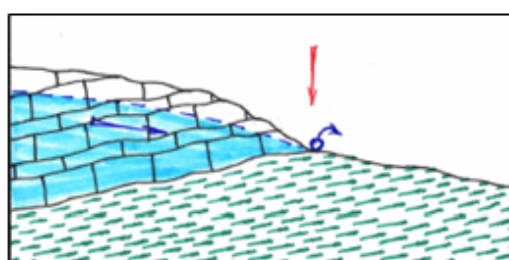
c) Ligne d'affluence d'un aquifère captif à un aquifère libre



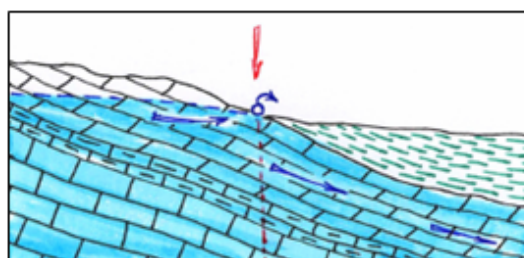
h,i,j) Relations avec les cours d'eau



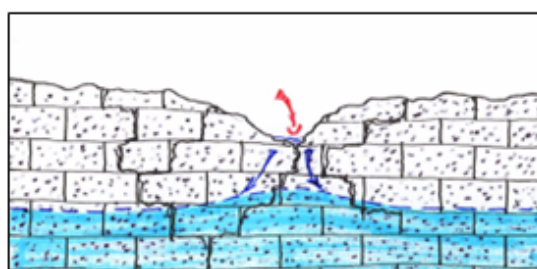
d) Ligne d'affluence des eaux de formations perméables /semi-perméables à un aquifère libre emboîté ou à un autre aquifère en contact par faille.



e) Ligne de sources de déversement



f) Ligne de débordement continue ou discontinue



g) Cours d'eau perché

+ k) limite administrative

+ l) limite inconnue

Annexe 6 - Le modèle de gestion du référentiel et de la géodatabase des entités

1. Le modèle de gestion

La réalisation de l'année 1 du projet a montré la complexité des opérations de découpage et la nécessité de traitements topologiques poussés pour assurer la cohérence du découpage tant horizontalement que verticalement (par exemple plus de 780 000 polygones en région Aquitaine composant les entités de niveau 1, 2 et 3, plus de 41 000 arcs de limites et au total 32 niveaux de superposition).

Un modèle de gestion du référentiel sous ArcGis (actuellement version 9.2) a été développé en 2007 et testé d'abord sur les régions traitées en année 1 du projet (en premier lieu la région Centre).

De nouveaux contextes apparaissant au fur et à mesure de la progression du travail, le modèle de gestion est régulièrement adapté.

A l'issue des traitements une géodatabase ArcGis (version 9.31), associée au modèle, est produite: elle contient l'ensemble des entités délimitée, aux trois niveaux de détail du référentiel (NV1, NV2 et NV3). Des outils associés permettent d'effectuer des requêtes, de réaliser des coupes verticales, d'extraire des limites.

Outre son rôle important dans le traitement topologique des entités, le modèle de gestion permet :

- 1) d'archiver dans un réservoir de données unique l'ensemble des informations relatives aux entités: leur géométrie et leur caractérisation;
- 2) de restituer ces informations, à savoir :
 - le niveau de regroupement des entités (NV1, NV2, NV3),
 - le code, le nom des entités,
 - la nature des entités,
 - le thème des entités,
 - le type de milieu des entités,
 - l'état des entités.
 - la position relative des entités les unes par rapport aux autres
 - o en deux dimensions (X,Y)
 - o en trois dimensions (X,Y et ordre de recouvrement ou ordre absolu)
 - la nature et le type de contact composant les limites entre les entités.

Pour atteindre ces objectifs un modèle conceptuel des données a été élaboré et un modèle de gestion a été mis en place. L'implémentation du modèle physique des données est réalisée dans l'environnement ESRI. Il est déclinable dans l'environnement MAPInfo mais les performances moindres de ce logiciel induisent une diminution des fonctionnalités du modèle. Dans la suite de ce document, la version numérique du modèle sera décrite sous sa forme ESRI, mais sa transcription en couches MapInfo est bien sûr possible.

1.1. FONCTIONNALITÉS DU MODÈLE

Le modèle de gestion est indispensable non seulement dans la phase d'élaboration, région par région, du référentiel (en tant qu'outil de travail aux fonctionnalités puissantes, topologiques en particulier), mais aussi par les possibilités d'exploitation qu'il offre (requêtes, sélections, réalisations de coupes verticales, visualisation 3D, ...).

1.1.1. Phase d'élaboration du référentiel

Le modèle de gestion permet :

- de restituer, à partir des découpages unitaires réalisés (une table par entité), l'assemblage latéral et vertical des entités. L'opération implique le tableau multi-échelles dans lequel les entités sont repérées par un numéro définissant un ordre (dit "absolu" et pouvant correspondre à l'âge des entités).
- de restituer les parties sous couverture des entités (une entité comprend en général une partie affleurante et une partie sous couverture) ;
- d'assurer une totale cohérence topologique (3D) de l'ensemble des entités et aux 3 niveaux de découpage NV1, NV2 et NV3 (utilisation des fonctions topologiques d'ArcGis) ;
- de détecter les anomalies de découpage des entités et de corriger les artefacts de découpage.

1.1.2. Phase d'exploitation du référentiel

Le produit final des traitements est une table ArcGis contenant l'ensemble des polygones d'intersection de toutes les entités les unes avec les autres. Cette table est la base du référentiel hydrogéologique à partir de laquelle de nombreuses tables dérivées peuvent être produites (en particulier les limites) et le point de départ de nombreuses requêtes sur les entités. Le modèle de gestion permet aussi :

- d'éditer automatiquement des fiches d'analyse par entité. Ces fiches précisent notamment les ordres d'apparition de l'entité (affleurante, sous couverture d'ordre1, sous couverture d'ordre 2, ...), la liste des entités sus-jacentes (les "toits") et sous-jacentes (les "murs") avec mention des superficies de recouvrement ;
- de réaliser des coupes verticales suivant des directions quelconques ;
- d'automatiser les mises à jour à partir du niveau 3 : les modifications sont faites sur les entités de plus bas niveau (NV3) et répercutées automatiquement sur les entités des niveaux supérieurs (NV1 et NV2).

1.2. ORGANISATION ET PRINCIPES DE BASE DU MODÈLE

1.2.1. Organisation des entités en "Entités principales" et "Entités complémentaires"

Ces deux ensembles d'entités sont structurés suivant les 3 niveaux de découpage du référentiel: NV1, NV2 et NV3.

Les "*Entités principales*" font l'objet d'un traitement topologique qui garantit la cohérence de leur assemblage 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,
- aires karstifiées délimitées par des traçages,

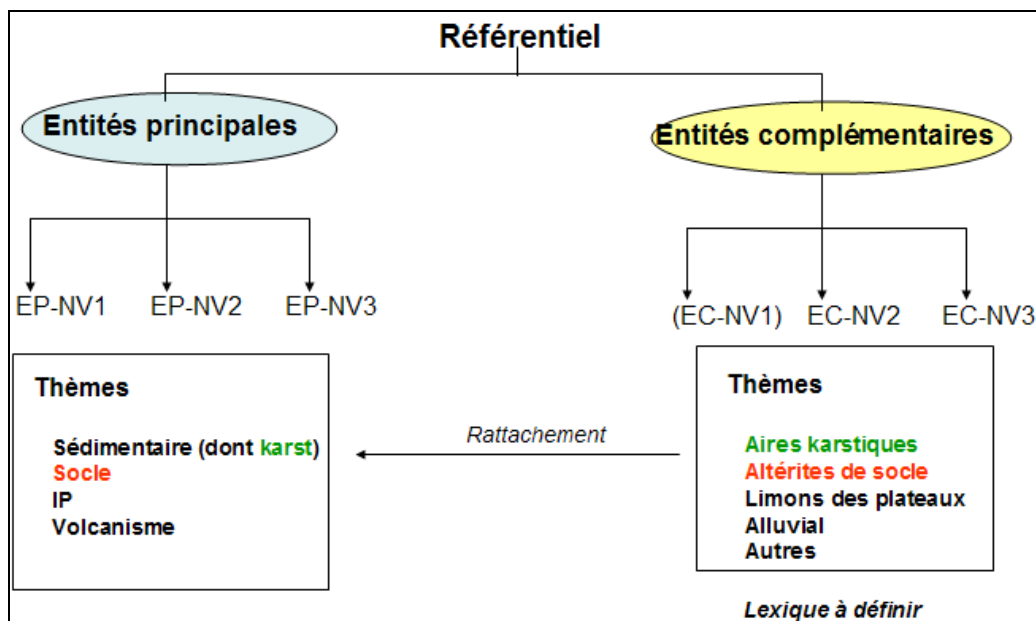


Illustration A1 – Organisation générale du référentiel

1.2.2. Ordonnancement vertical

Le modèle permet de passer automatiquement d'un ordonnancement absolu des entités (correspondant à l'ordre dans lequel toutes les entités identifiées se succèdent sur la verticale, en général un ordre correspondant à un âge stratigraphique) à un ordonnancement relatif, 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 (illustrations A2 et A3). Cet ordonnancement correspond à une classification topographique sous contrainte chronologique.

L'ordonnancement absolu est repéré par un numéro d'ordre "absolu" affecté à chaque entité dans le tableau multi-échelle, tableau utilisé par le modèle de gestion pour passer à un ordre relatif.

Numérisation de chaque entité	Définition de l'ordre absolu	Fichier global des entités délimitées à traiter
	Entité : X Ordre absolu : 52	
	Entité : Y Ordre absolu : 88	
	Entité : Z Ordre absolu : 90	

Illustration A2 – Ordonnancement des entités par un âge absolu

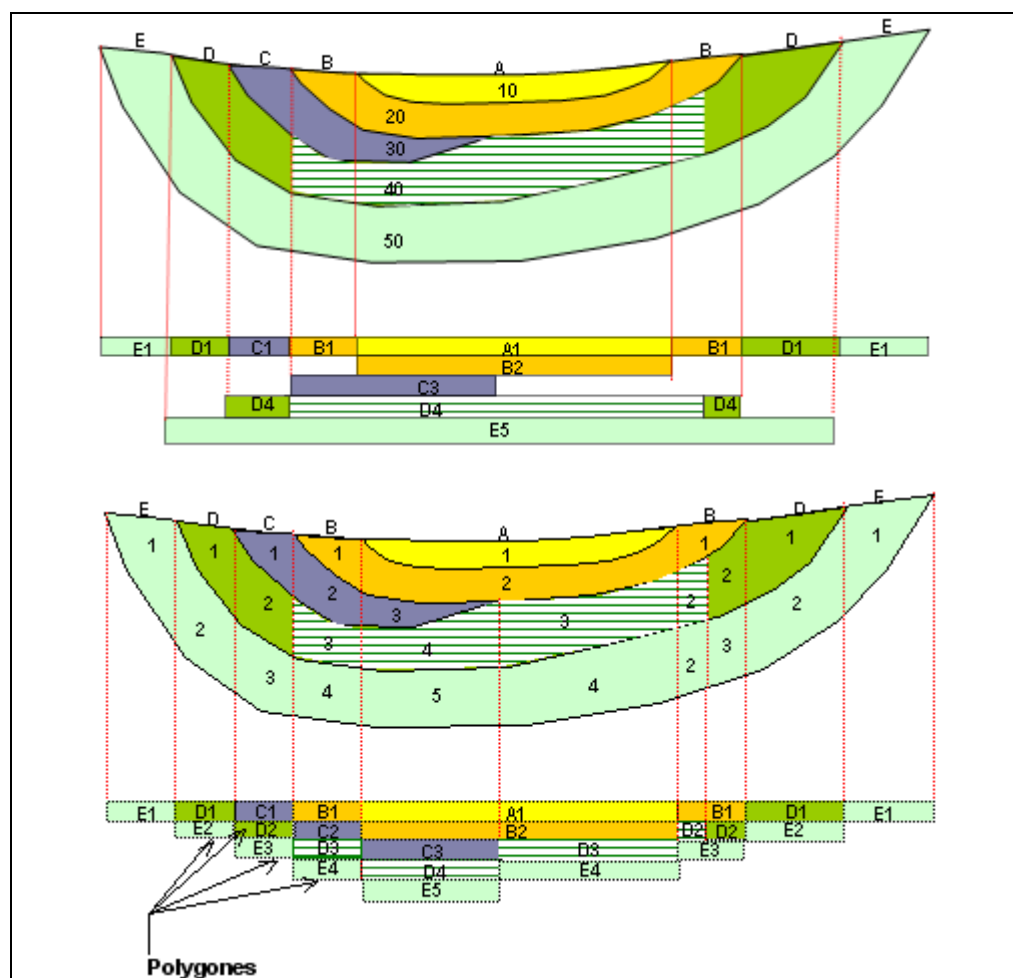


Illustration A3 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif.

1.2.3. Complétude

Toutes les couches sont spatialement complètes (couverture totale du territoire modélisé). Lorsque les entités de niveau 3 délimitées dans un niveau 2 ne permettent pas de reconstituer en totalité ce niveau 2 (seules des entités d'intérêt ont été délimitées), le complément "NV2-ΣNV3" est ajouté (en général un domaine)

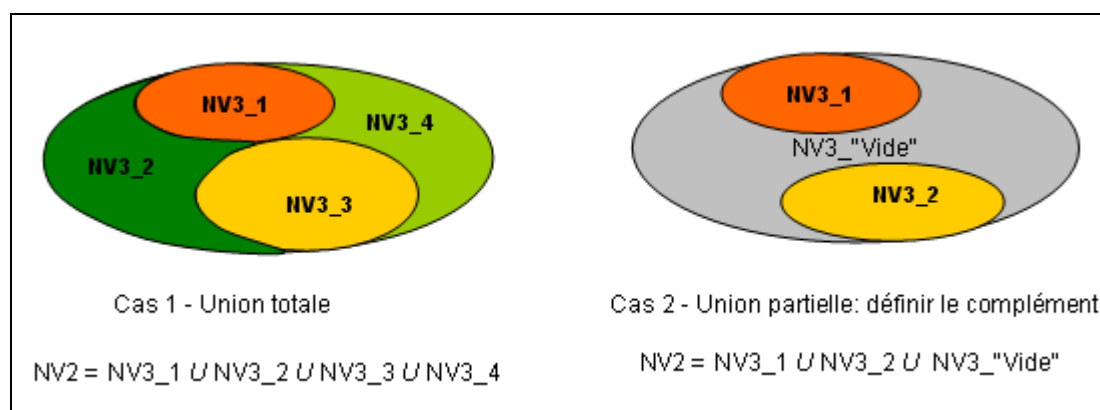


Illustration A4 - Reconstitution d'une entité de niveau 2 à par d'entités de niveau 3.

Le modèle de gestion peut tenir compte des cas où une entité de niveau 3 s'étend sur deux entités de niveau 2 (en général, cas lié à l'existence d'une frontière de "thème", par exemple passage du thème "intensément plissé" au thème "sédimentaire").

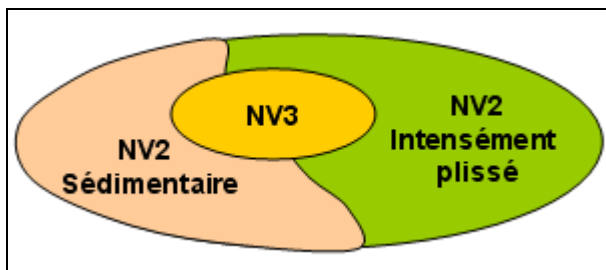


Illustration A5 – Entité de niveau 3 s'étendant sur 2 entités de niveau 2

1.2.4. Héritage des limites

• Limites

Le modèle conceptuel restitue les éléments qui composent les limites des entités d'ordre de superposition identiques. Le guide méthodologique du référentiel propose un ensemble de limites type qui est utilisé pour les contours des entités d'ordre 1.

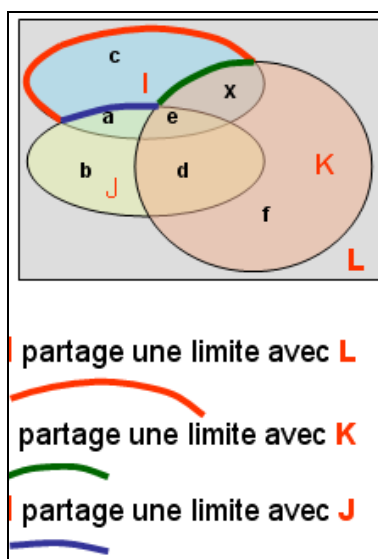


Illustration A6 – Restitution des limites des entités à partir de la table des polygones

Les arcs ou les vecteurs qui composent les limites dans le référentiel BDRHFV2 sont issus de l'analyse topologique des entités. Chaque limite connaît ainsi ses voisins de gauche et droite. Cette orientation des limites (droite/gauche) gérée de manière transparente n'est pas précisée dans le référentiel.

Les limites sont qualifiées selon une typologie hydrogéologique et selon la nature des contacts qu'elles établissent entre les entités du référentiel. Elles sont représentées par le couple d'entités qu'elles lient et l'ordre relatif auquel elles se réfèrent.

L'illustration A7 suivante présente un schéma vertical local avec 2 ordres de superposition.

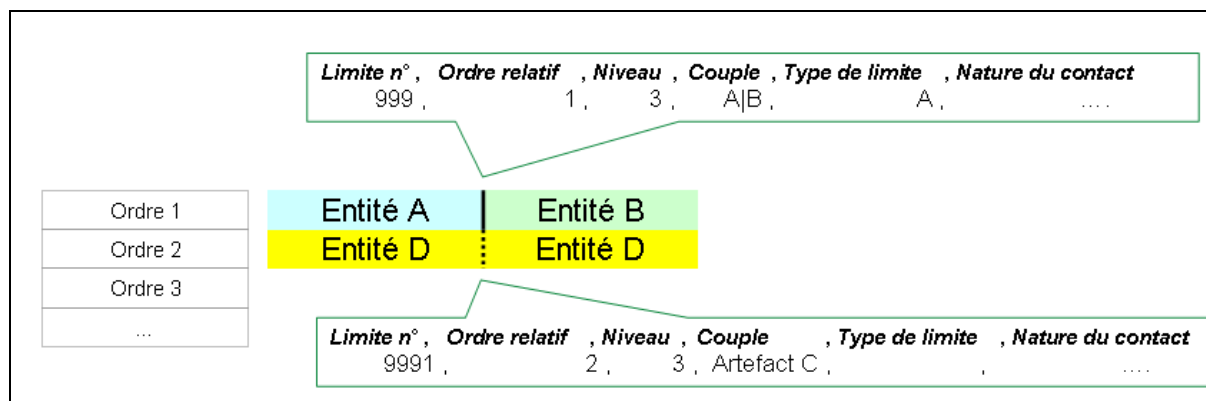


Illustration A7 – Exemple de contacts entre entités

- La limite affleurante n°999 est définie par le couple d'entités d'ordre 3 : A et B, le type est défini par le producteur de la données, la nature du contact sera illustrée plus loin.
- La limite sous recouvrement n°9991 est définie par le couple d'entité d'ordre 3 : C et C, il s'agit donc d'un artefact de découpage de l'entité C hérité de la limite précédente.

Les artefacts de découpage sont conservés car ils peuvent être la cause de changement de type hydrogéologique des limites. Cette propriété est illustrée par la notion de **nature des contacts** que le référentiel déduit automatiquement de la superposition relative des entités et l'analyse de leur nature. L'illustration suivante présente un schéma de définition de la nature des contacts déduits pour chacune des limites identifiées (artefacts compris).

Ordre 1	Aquifère	Domaine	Domaine	Aquifère	Contact 1
Ordre 2	Aquifère	Aquifère	Aquifère	Aquifère	
Ordre 1	Aquifère	Domaine	Domaine	Aquifère	Contact 2
Ordre 2	Aquifère	Domaine	Domaine	Aquifère	
Ordre 1	Aquifère	Domaine	Domaine	Aquifère	Contact 3
Ordre 2	Domaine	Domaine	Domaine	Domaine	
Ordre 1	Domaine	Domaine	Domaine	Domaine	Contact 4
Ordre 2	Aquifère	Domaine	Domaine	Aquifère	
Ordre 1	Aquifère	Aquifère	Aquifère	Aquifère	Contact 5
Ordre 2	Aquifère	Domaine	Domaine	Aquifère	
Ordre 1	Domaine	Domaine			Contact 6
Ordre 2	Aquifère	Aquifère			
Ordre 1	Aquifère	Aquifère			Contact 7
Ordre 2	Aquifère	Aquifère			
Ordre 1	Aquifère	Aquifère			Contact 8
Ordre 2	Domaine	Domaine			
Ordre 1	Domaine	Domaine			Contact 9
Ordre 2	Domaine	Domaine			

Illustration A8 – Nature des contacts possibles entre entités

Neuf contacts distincts sont définis automatiquement, ils sont conditionnés par la nature des entités d'ordre 1 et d'ordre 2 au droit de la limite étudiée.

Le lexique des types de limites est fourni dans le tableau de l'illustration A9 qui suit.

RHF_LEXQUES_VALEURS		
CODE	VALEUR	Commentaire
A	Ligne de partage des eaux souterraines	C'est une limite à flux nul correspondant à une crête piézométrique, dont la position peut se déplacer au cours du temps ou sous l'influence de pompage (exemple : aquifère de la craie dans la Somme).
B	Limite étanche	C'est une limite à flux nul correspondant à un contact entre des formations imperméables et perméables. Exemple : Alluvions perméables sur des schistes ou Crétacé supérieur sur Albien argileux.
C	Ligne d'affluence d'un aquifère captif à un aquifère	Elle correspond également à une limite d'alimentation à condition de flux du second. Ce type de limite s'observe en bordure du Bassin parisien entre des formations très peu perméables (Callovien par exemple) et aquifère (Bathonien - Bajocien par exemple).
D	Ligne d'affluence des eaux de formations perméable	C'est une limite d'alimentation à condition de flux de ce dernier. Exemple : les reliefs jurassiques alimentant les terrasses alluviales de la plaine de l'Hérault ou les failles mettant en contact Grès du Trias inférieur et Calcaires du Muschelkalk.
E	Ligne de sources de déversement	Elle s'observe au contact d'une entité aquifère avec une entité imperméable. Exemple : ligne de sources à la base de l'Oxfordien au contact avec le Callovien, en bordure du Bassin parisien.
F	Ligne de débordement continue ou discontinue	Ligne d'émergence et ligne d'affluence d'un aquifère libre à un aquifère captif : limite d'alimentation à condition de flux nul du second. Exemple: limite entre l'Oxfordien et le Kimméridgien en bordure du Bassin parisien.

Illustration A9 – Types de limites

G	Cours d'eau perché, à pertes par infiltration, sou	C'est une ligne d'alimentation de flux plus ou moins discontinue. Cela peut être le cas de rivières circulant dans des reliefs et où le niveau de base est sensiblement inférieur à l'altitude du lit de la rivière.
H	Cours d'eau limite d'alimentation	
I	Cours d'eau limite à potentiel	Alimentation ou drainage selon les périodes, ou sens du flux inconnu)
J	Cours d'eau limite de drainage	Les trois précédentes limites permettent de qualifier la nature de la relation nappe - rivière avec une condition de potentiel hydraulique.
K	Limite à caractère administratif	Une limite de type administratif est nécessaire pour délimiter les aquifères transfrontaliers.
L	Limite inconnue	Lorsque la limite de l'aquifère ne peut être déterminée, un code correspondant à « limite inconnue » sera utilisé.
Y	Autres	Autre type de limite, à définir ultérieurement
Z	Artefact de découpage	Limite liée au processus de découpage, hors typologie hydro.

Illustration A9 (suite) – Types de limites

2. Géodatabase associée au modèle de gestion

2.1. MODÈLE CONCEPTUEL DES DONNÉES

Le modèle de gestion est implémenté dans une géodatabase ArcGIS. Il est composé de quatre tables principales (illustrations A10 et A11) :

- la table des polygones qui constituent les entités (formes géométriques), appelée "RHF_Polygones relatifs"
- la table des limites des entités (polylignes), appelée "RHF_Limites"
- le tableau synthétique de définition des entités
- le tableau de définition des limites

et de requêtes dérivées, par exemple "REQUETE_toits" et "REQUETE_murs" des entités (illustration A11).

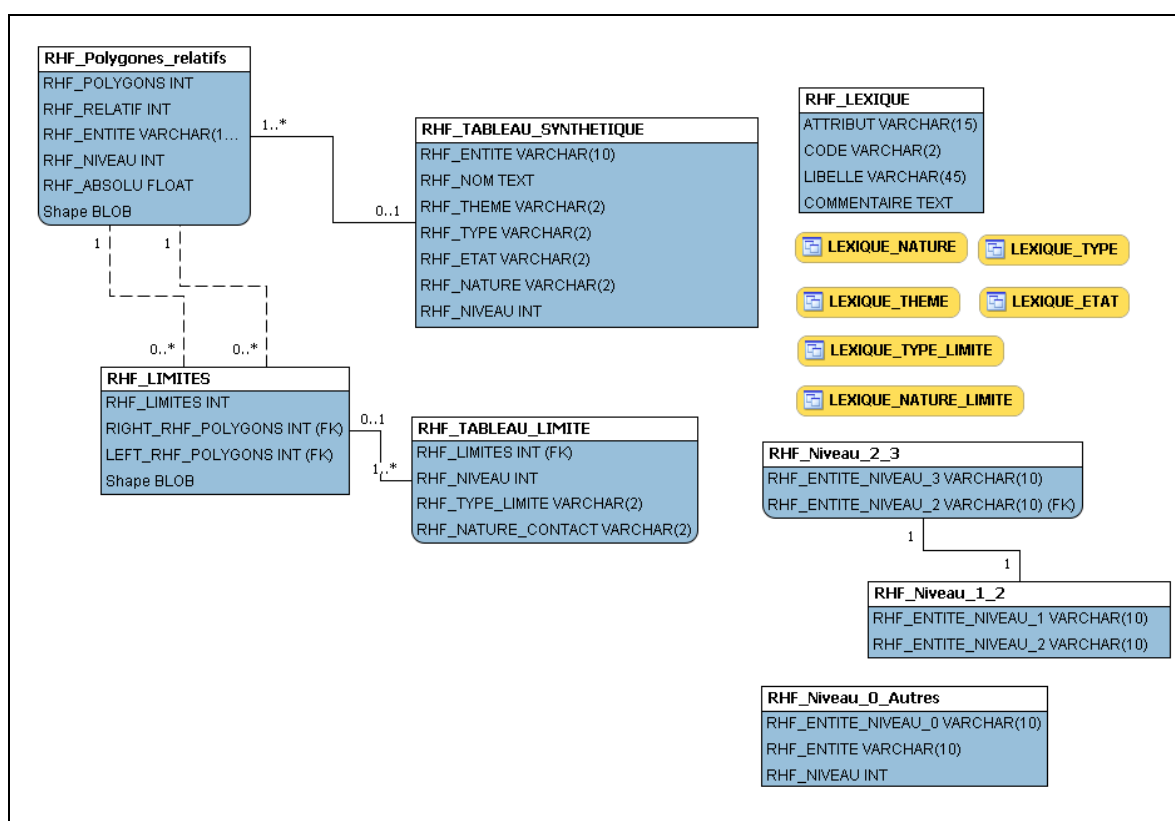


Illustration A10 – Modèle conceptuel de la géodatabase

Remarque : par convention, les tables de données composant le fonds documentaire minimal de la géodatabase sont notées avec le préfixe **RHF_**. Les tables qui résultent de requêtes complexes dont le résultat est "figé" pour en faciliter la lecture sont préfixée avec **BDRHF_**.



Illustration A11 – Liste des tables et des requêtes dans la géodatabase du référentiel

2.2. PRINCIPALES TABLES

2.2.1. Table des "RHF_Polygones relatifs"

Le résultat final de tous les traitements effectués avec le modèle de gestion et permettant d'obtenir un "assemblage" d'entités topologiquement correct dans les 3 dimensions est une couche vecteur ArcGis de la géodatabase nommée "**RHF_Polygones relatifs**". C'est une table (couche graphique) contenant tous les polygones issus de l'intersection de toutes les entités les unes avec les autres pour tous les niveaux du référentiel (1,2 ou 3).

2.2.2. Table RHF_Tableau_Synthetique

La table RHF_Tableau_Synthetique est la transcription au format MSACCESS du tableau multi-échelles (illustration A12).

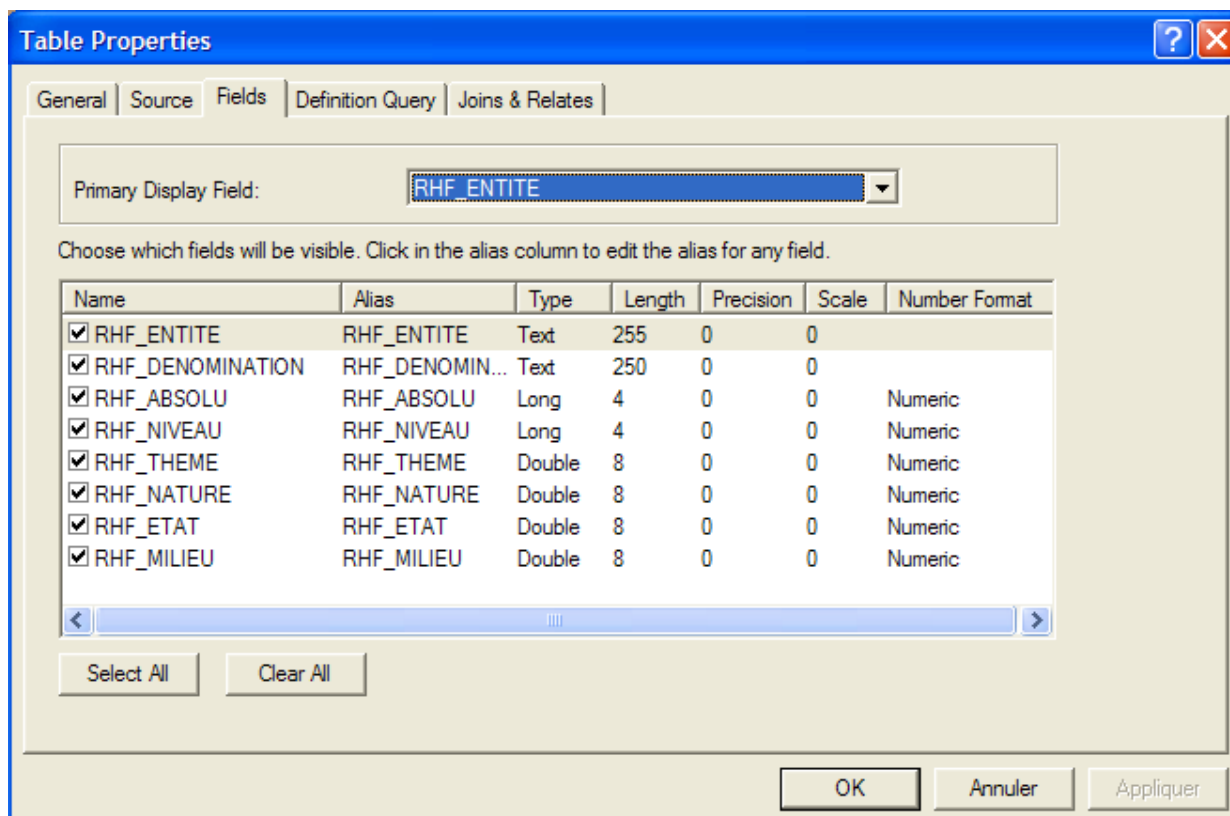


Illustration A12 - Table RHF_Tableau_Synthetique

2.2.3. Table des limites

La seconde couche vecteur correspondant à la table des limites (illustration A13), appelée "RHF_**Limites**" (limites des entités d'ordre 1 et plus).

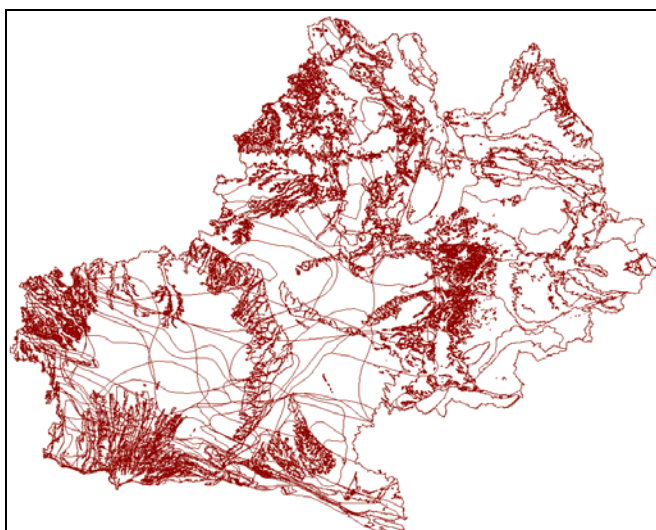


Illustration A13 – Table des limites des entités d'ordre 1
(exemple de la région Midi-Pyrénées)

Les limites peuvent être qualifiées selon leur nature et le contact entre les entités sous jacentes.

2.2.4. Table RHF_Limites_nature

La table de qualification des limites reprend une part d'information définie par le producteur des données (le type de limite) et des attributs issus de l'analyse de la base de données. Ces derniers peuvent être recalculés lors de la mise à jour des attributs des entités

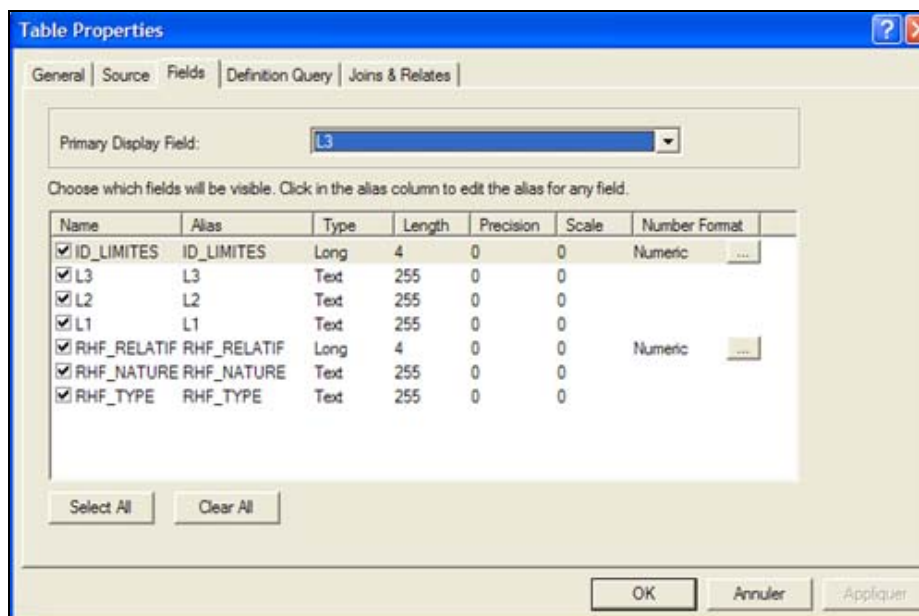


Illustration A18 – Table de la nature des limites

Le champ **L3** décrit le couple d'entité de niveau 3 séparé par cette limite. La syntaxe utilisée est composée des codes d'entité séparés par le symbole "|" (ascii 124)

par exemple : |F10G1|F11T1|.

Lorsque la limite sépare une entité du "monde extérieur", par exemple une limite administrative au delà de laquelle le découpage hydrogéologique n'est pas effectué, le couple L3 est composé du code de l'entité et du mot clef "Monde"

par exemple : |F10G1|Monde|.

Lorsque la limite est héritée d'un découpage sous-jacent, elle peut être incluse dans une même entité hydrogéologique. Dans ce cas les entités situées de part et d'autre de la limite sont de même code. Le champ L3 prend alors la valeur « Artefact »

Le champ **L2** décrit le couple d'entité de niveau 2 séparé par cette limite. La syntaxe utilisée est composée des codes d'entité séparés par le symbole "|" (ascii 124)

par exemple : |F10G|F11T|.

Lorsque la limite sépare une entité du "monde extérieur", par exemple une limite administrative au delà de laquelle le découpage hydrogéologique n'est pas effectué, le couple L2 est composé du code de l'entité et du mot clef "Monde"

par exemple : |F10G|Monde|.

Lorsque la limite est héritée d'un découpage sous-jacent, elle peut être incluse dans une même entité hydrogéologique. Dans ce cas les entités situées de part et d'autre de la limite sont de même code. Le champ L2 prend alors la valeur « Artefact »
Remarque : Toutes les entités de niveau 3 incluses dans une entité de niveau 2 composent les limites de niveau 2 définies comme "Artefact" à l'exception des limites au contact d'entités de niveau 2 distinctes.

Le champ **L1** décrit le couple d'entité de niveau 1 séparé par cette limite. La syntaxe utilisée est composée des codes d'entité séparés par le symbole "|" (ascii 124)

par exemple : |F10|F11|.

Lorsque la limite sépare une entité du "monde extérieur", par exemple une limite administrative au delà de laquelle le découpage hydrogéologique n'est pas effectué, le couple L1 est composé du code de l'entité et du mot clef "Monde"

par exemple : |F10|Monde|.

Lorsque la limite est héritée d'un découpage sous-jacent, elle peut être incluse dans une même entité hydrogéologique. Dans ce cas les entités situées de part et d'autre de la limite sont de même code. Le champ L1 prend alors la valeur « Artefact »

Remarque : Toutes les entités de niveau 3 ou 2 incluses dans une entité de niveau 1 composent les limites de niveau 1 définies comme "Artefact" à l'exception des limites au contact d'entités de niveau 1 distinctes.

Le champ **RHF_Relatif** définit l'ordre de recouvrement concerné par la limite. Seules les limites d'ordre relatif égal à 1 sont définies selon une typologie décrite par le producteur de données.

Le champ **RHF_Type** définit la typologie de la limite décrite par le producteur de données.

Le champ **RHF_Nature** définit la nature du contact établi par la limite entre les entités d'ordre relatif 1 et 2.

Le lexique des natures de contact est fourni dans le tableau ci-après:

RHF_LEXQUES_VALEURS	
CODE	VALEUR
AAAA	Aquifère-Aquifère/Aquifère-Aquifère
AADA	Aquifère-Aquifère/Aquifère-Domaine
AAAD	Aquifère-Aquifère/Aquifère-Domaine
AADD	Aquifère-Aquifère/Domaine-Domaine
DAAA	Aquifère-Domaine/Aquifère-Aquifère
ADAA	Aquifère-Domaine/Aquifère-Aquifère
ADDA	Aquifère-Domaine/Aquifère-Domaine
DAAD	Aquifère-Domaine/Aquifère-Domaine
DADA	Aquifère-Domaine/Aquifère-Domaine
ADAD	Aquifère-Domaine/Aquifère-Domaine
DADD	Aquifère-Domaine/Domaine-Domaine
ADDD	Aquifère-Domaine/Domaine-Domaine
DDAA	Domaine-Domaine/Aquifère-Aquifère
DDDA	Domaine-Domaine/Aquifère-Domaine
DDAD	Domaine-Domaine/Aquifère-Domaine
DDDD	Domaine-Domaine/Domaine-Domaine

Illustration A14 – Lexique de la nature des contacts

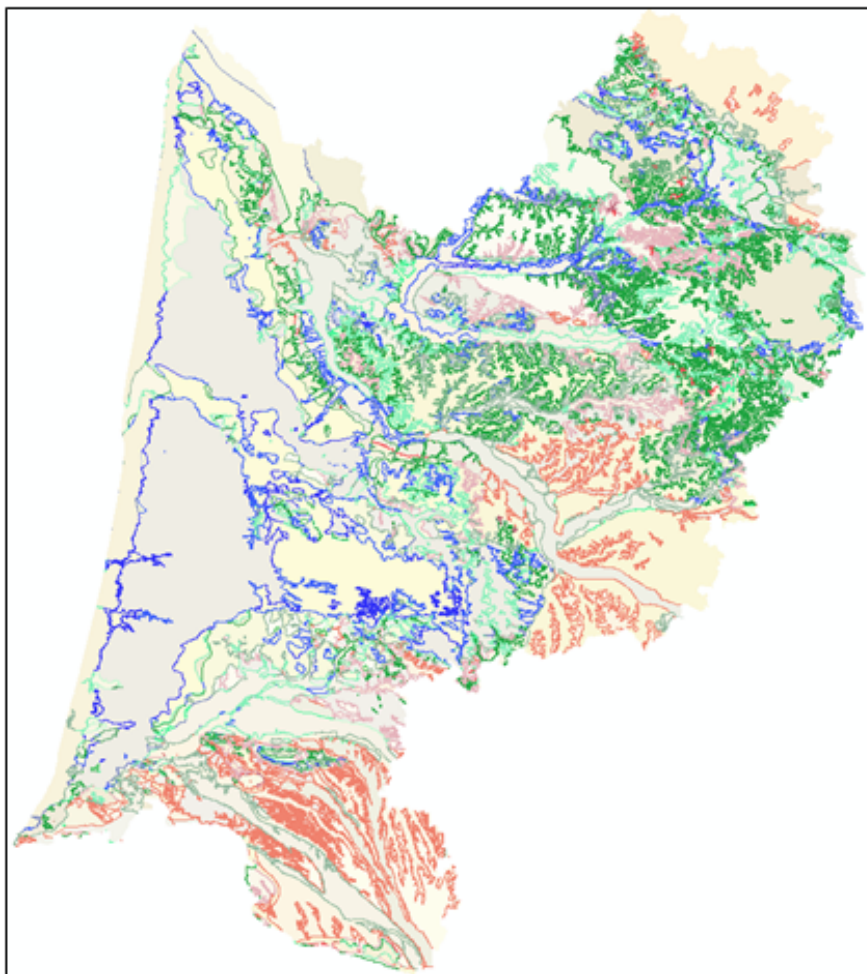


Illustration A15 – Exemple de représentation des limites en fonction de la nature des contacts
(référentiel de l'Aquitaine)

2.2.5. Requêtes sur le modèle et tables associées

Requêtes Toits et murs

Il s'agit de 2 requêtes que l'on peut ouvrir pour consultation. Pour chaque polygone de l'entité (champ "Attribut_Polygons"), on peut connaître l'entité qui compose le polygone situé directement au-dessus (champ "Toit") et celle située directement au-dessous (Champ "Murs").

Dans l'illustration suivante,

- le toit de A est composé de b et de c
- le mur de A est composé de e et de f

A	b	i	i	k
e	A	b	i	i
	e	A	c	i
		f	A	c
			f	A
				f

Les requêtes permettant l'extraction de ces données sont REQUETE_MURS et REQUETE_TOITS, elles sont également transcrites sous formes de tables BDRHF_Table_Murs et BDRHF_Table_Murs

Table (requête) : BDRHF_TABLE_TOIT (BDRHF_TOIT)

BDRHF_Table_Toits : Table										
RHF_ENTITE	RHF_ABSOLU	Position	TOIT	LIBELLE	ORDRE_ABSO	Part_Toits	SToits	Surface	RHF_NIVEAU	
10A	100	Toit	1B	Domaine aquifè	10	0.5628394038	711758480	48054244348	2	
10A	100	Toit	7B	Système aquifè	70	0.0017709860	2239563	2529170755.2	2	
10A	100	Toit	8B	Domaine imper	80	0.0742439338	93887793	11381268398	2	
10A1	100	Toit	1B4	Domaine aquifè	10	0.9297574797	17265823	37140487.444	3	
10A2	100	Toit	1B3	Domaine aquifè	10	0.0004950633	57642	116433589.51	3	
10A2	100	Toit	1B4	Domaine aquifè	10	0.8677559751	101035943	465734358.05	3	
10A3	100	Toit	1B7	Domaine aquifè	10	0.649815871	151132818	1395467467.8	3	
10A3	100	Toit	7B41	Unité aquifère d	70	0.0096293022	2239563	465155822.59	3	
10A4	100	Toit	1B5	Domaine aquifè	10	0.2818628625	89605078	317903100.79	3	
10A4	100	Toit	1B6	Domaine aquifè	10	0.4512132491	143442091	317903100.79	3	
10A5	100	Toit	1B3	Domaine aquifè	10	0.4961843609	119449097	2648088433.8	3	
10A6	100	Toit	1B2	Domaine aquifè	10	0.5742847963	82878229	1010208883.7	3	
10A6	100	Toit	8B5	Domaine imper	80	0.0132702258	1915100	144315554.81	3	
10A7	100	Toit	1B8	Domaine aquifè	10	0.0052030419	324017	124549065.16	3	
10A7	100	Toit	8B5	Domaine imper	80	0.1076240756	6702239	124549065.16	3	
10A9	100	Toit	1B1	Domaine aquifè	10	0.008406365	6657742	305325308.14	3	

Illustration A16 – Table des toits (exemple de la région Aquitaine)

Description des attributs de la table/requête des toits	
RHF_ENTITE	Code de l'Entité étudiée
RHF_ABSOLU	Ordre absolu
RHF_NIVEAU	Niveau de l'entité étudiée
Surface	Surface de l'entité étudiée
Position	Position des entités associées (constante TOIT)
TOIT	Code de l'entité au toit
LIBELLE	Denomination de l'entité au toit
ORDRE_ABSOLU	Ordre absolu de l'entité au toit
Part_Toits	Par relative de la surface de l'entité étudiée dont le toit est composée par cette unité
SToits	Surface du toit considéré

Illustration A17 – Table des toits (exemple de la région Poitou-Charentes)

Table (requête) : BDRHF_TABLE_MUR (BDRHF_MUR)

BDRHF_Table_Murs : Table										
RHF_ENTITE	RHF_ABSOLU	Position	MURS	LIBELLE	ORDRE_ABSO	Smurs	Aire	Part_Mur	Surface	RHF_NIVEAU
1	10	Mur	10	Grand système	100	847686972	1974761781.9	0.4292603694	88864280188	1
1	10	Mur	11	Grand domaine	110	40936870	1974761781.9	0.0207300295	63192377022	1
1	10	Mur	12	Grand système	120	75500861	1974761781.9	0.0382328956	37520473857	1
1	10	Mur	21	Grand système	20	114308450	1974761781.9	0.0578846781	51343806331	1
1	10	Mur	3	Grand domaine	30	116647627	1974761781.9	0.0590692144	1.007129E+11	1
1	10	Mur	4	Grand système	40	43530245	1974761781.9	0.0220432892	19747617819	1
1	10	Mur	4	Grand système	41	7878785	1974761781.9	0.0039897395	13823332474	1
1	10	Mur	4	Grand système	42	375791	1974761781.9	0.0001902969	3949523563.9	1
1	10	Mur	5	Grand système	60	104651691	1974761781.9	0.0529945900	78990471278	1
1	10	Mur	5	Grand système	65	33115719	1974761781.9	0.0167694753	1974761781.9	1
1	10	Mur	51	Grand domaine	50	60766447	1974761781.9	0.0307715328	61217615240	1
1	10	Mur	7	Grand Système	70	290111334	1974761781.9	0.1469095344	98738089097	1
1	10	Mur	9	Grand Système	90	27446597	1974761781.9	0.0138986876	9873808909.7	1
1	10	Mur	9	Grand Système	91	113210525	1974761781.9	0.0573286996	35545712075	1
10	100	Mur	11	Grand domaine	110	16576785913	16584901422	0.9995106689	2.063162E+13	1
10	100	Mur	12	Grand système	120	7655244	16584901422	0.0004616394	66339605687	1

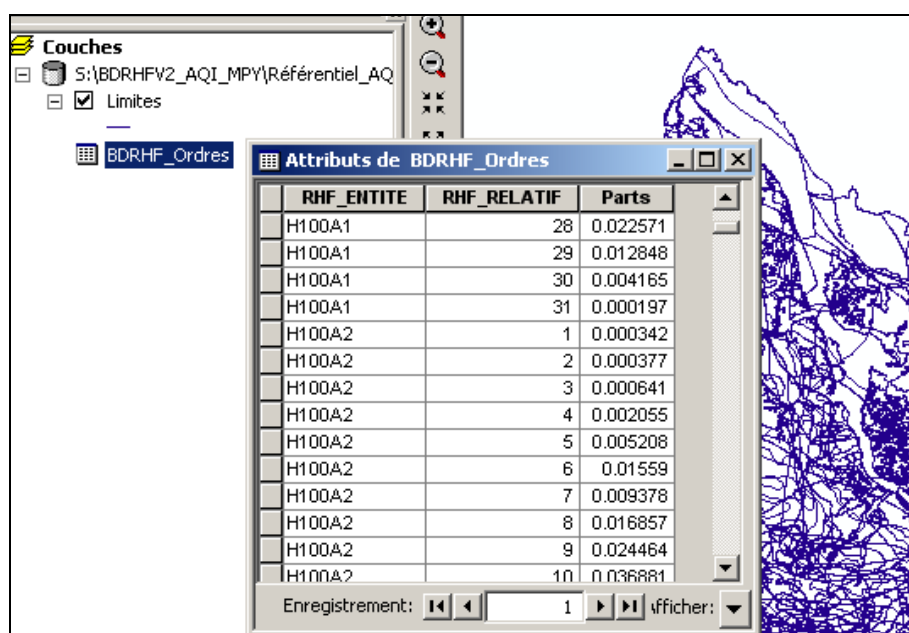
Illustration 18 – Table des murs (exemple de la région Poitou-Charente)

	<i>Description des attributs de la table/requête des murs</i>
RHF_ENTITE	Code de l'Entité étudiée
RHF_ABSOLU	Ordre absolu
RHF_NIVEAU	Niveau de l'entité étudiée
Surface	Surface de l'entité étudiée
Position	Position des entités associées (constante TOIT)
MURS	Code de l'entité au mur
LIBELLE	Dénomination de l'entité au mur
ORDRE_ABSOLU	Ordre absolu de l'entité au mur
Part_Mur	Par relative de la surface de l'entité étudiée dont le mur est composée par cette unité
SToits	Surface du mur considéré

Illustration A19 – Table des murs (exemple de la région Aquitaine)

2.2.6. Table des ordres

Il s'agit d'une table (illustration A25) dans laquelle les entités (champ "RHF_ENTITE") sont "décomposées" suivant leur ordre relatif de recouvrement (champ "RHF_RELATIF"), chaque partie étant caractérisée par la superficie qu'elle occupe (Champ "Parts").



RHF_ENTITE	RHF_RELATIF	Parts
H100A1	28	0.022571
H100A1	29	0.012848
H100A1	30	0.004165
H100A1	31	0.000197
H100A2	1	0.000342
H100A2	2	0.000377
H100A2	3	0.000641
H100A2	4	0.002055
H100A2	5	0.005208
H100A2	6	0.01559
H100A2	7	0.009378
H100A2	8	0.016857
H100A2	9	0.024464
H100A2	10	0.036881

Illustration A20 - Table des ordres



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional Languedoc-
Roussillon**

1039, rue de Pinville
34000 MONTPELLIER
Tél. : 04 67 15 79 80

