

[illegible]

BRGM/RP-58091-FR
Juin 2010



Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA Bassin Rhin-Meuse Année 4

Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en Alsace Rapport d'étape

BRGM/RP-58091-FR
Juin 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2009 EAU-I32

S. Urban

avec la collaboration de J. Boucher, V. Mardhel et D. Xu



Vérificateur :

Nom : J.J. Seguin
Date : 22 juin 2010

Signature :

Approbateur :

Nom : Ph. Weng
Date : 15 juillet 2010

Signature :

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

Mots clés : BDLISA, Référentiel hydrogéologique, Système aquifère, Domaine hydrogéologique, Lorraine, Champagne-Ardenne, Bassin Rhin-Meuse, Bassin Seine-Normandie.

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

S. Urban, J. Boucher, V. Mardhel, D. Xu (2010) – Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Rhin-Meuse – Année 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en Alsace. Rapport d'étape. BRGM/RP-58091-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). Le territoire couvert par la délimitation des entités hydrogéologiques correspond à la région Alsace.

Les entités hydrogéologiques ont été délimitées aux trois niveaux de détail du référentiel (national, régional et local) :

- dans les formations du sédimentaire, qui couvrent la plus grande partie de la région ;
- et en domaine de socle : les Vosges cristallines.

A partir des cartes géologiques harmonisées (échelle du 1/50 000), des logs validés de forages et de critères hydrogéologiques, ont été identifiées et délimitées :

- **77 entités hydrogéologiques au niveau local (NV3) dont 11 en domaine de socle ;**
- **29 systèmes aquifères ou domaines hydrogéologiques du niveau régional (NV2) dont 6 en domaine de socle ;**
- **8 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1) dont 1 grand domaine de socle.**

A ces entités, s'ajoutent **2 ensembles d'entités "complémentaires"**, identiques aux trois niveaux de découpage, constituant une **"surcouche" du référentiel** :

- les formations loessiques ;
- les formations résiduelles (buttes témoins).

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 intégrées aussi au cdrom.

...

Sommaire

1. Introduction	9
2. Caractéristiques du référentiel BDLISA et méthodologie de découpage des entités	15
2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION.....	15
2.1.1. Les "thèmes" du référentiel	15
2.1.2. Les différents types d'entités hydrogéologiques.....	15
2.1.3. Les niveaux d'identification	17
2.1.4. Codification et dénomination des entités.....	17
2.2. LE MODÈLE DE REPRÉSENTATION DES ENTITÉS	18
2.2.1. Principes sous-jacents.....	18
2.2.2. Organisation des entités en 2 ensembles	18
2.2.3. Ordre absolu et ordre relatif.....	19
2.3. PRINCIPES ET DÉMARCHE DE DÉLIMITATION	19
2.3.1. Principes de base du découpage	19
2.3.2. Démarche générale	21
2.3.3. Restitution par le modèle de gestion des 3 niveaux de découpage	22
2.3.4. Vérification de la topologie	23
2.4. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS ET DES LIMITES	24
2.4.1. Caractérisation des entités	24
2.4.2. Caractérisation des limites	24
3. Mise en œuvre du découpage des entités en Alsace.....	27
3.1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE	27
3.1.1. Les cartes géologiques harmonisées	27
3.1.2. Logs géologiques	27
3.2. DÉMARCHE POUR IDENTIFIER ET DÉCOUPER LES ENTITÉS DU THÈME SÉDIMENTAIRE	31
3.2.1. Déroulement des tâches pour les parties affleurantes des entités.....	31
3.2.2. Tracé des limites pour les parties sous couverture des entités.....	32
3.3. DESCRIPTION DES ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES DU THÈME SÉDIMENTAIRE	33
3.3.1. L'Alsace bossue	33
3.3.2. La plaine d'Alsace	36
3.3.3. Formations du Fossé rhénan pré-Tertiaire	40
3.3.4. Le Sundgau	42
3.3.5. Vallée de la Plaine	47

3.3.6. Les zones de fractures.....	47
3.3.7. Tableau multi-échelles du thème sédimentaire.....	49
3.4. ENTITÉS DU SOCLE.....	49
3.4.1. Le socle vosgien	49
3.4.2. Caractérisation des entités du socle vosgien.....	52
3.4.3. Tableau multi-échelle du thème socle.....	53
3.5. ENTITES COMPLEMENTAIRES	53
4. Résultats : géodatabase et fiches d'analyse	54
4.1. GÉODATABASE	54
4.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS.....	59
5. Conclusion.....	63
6. Bibliographie	65

Liste des illustrations

Illustration 1 : Progression du référentiel sur le territoire métropolitain et dans les DOM.	10
Illustration 2 : Systèmes aquifères et domaines du bassin Rhin-Meuse d'après le référentiel BDRHF-V1.....	13
Illustration 3 : Types d'entités hydrogéologiques.....	15
Illustration 4 : Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités.	20
Illustration 5 : Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture.....	22
Illustration 6 : Construction d'une entité NV2 à partir des entités NV3.....	22
Illustration 7 : Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage.	23
Illustration 8 : Nature des contacts entre entités et limites hydrogéologiques correspondantes.....	25
Illustration 9 – Carroyage des cartes géologiques pour les deux départements de l'Alsace	29
Illustration 10 – Localisation des logs validés extraits de la Banque de données du Sous-Sol	30
Illustration 11 – Découpage en entités NV3 de l'Alsace Bossue.	33
Illustration 12 – Stratigraphie détaillée du Buntsandstein	35
Illustration 13 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 de l'Alsace bossue.....	36
Illustration 14 – Coupe schématique du Sud du Fossé Rhénan	37
Illustration 15 – Découpage du système plio –quaternaire de la plaine d'Alsace	37
Illustration 16 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 du Plio–Quaternaire de la Plaine d'Alsace	38
Illustration 17 – Oligocène (et Pliocène) du Fossé Rhénan	39

Illustration 18 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 de l'Oligocène du Fossé Rhénan.....	39
Illustration 19 – Découpage de la plaine d'Alsace (unités pré-Tertiaire)	41
Illustration 20 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 du Fossé Rhénan pré-Tertiaire	41
Illustration 21 – Découpage de la plaine d'Alsace (unités de socle).....	42
Illustration 22 – Découpage du Sundgau.....	43
Illustration 23 – Circulations d'eau dans les Cailloutis du Sundgau	44
Illustration 24 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 du Sundgau.....	46
Illustration 25 - Découpage des zones de fractures	48
Illustration 26 –Exemple d' information fournie par la méthode "Déclic"	50
Illustration 27 – Découpage des Vosges Cristallines.....	51
Illustration 28 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 du Massif vosgien cristallin	53
Illustration 29 : Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap.	54
Illustration 30 : Tables non géométriques de la géodatabase.	55
Illustration 31 : Interface utilisateur de la géodatabase.	55
Illustration 32 : Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général.	56
Illustration 33 : Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs).	57
Illustration 34 : Exemple de sélection : entités de niveau 3 et d'ordre 1.....	57
Illustration 35 : Table des limites.....	58
Illustration 36 : Table des natures de contacts entre entités.	58
Illustration 37 : Editeur de cartes du modèle de gestion du référentiel.....	59
Illustration 38 : Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche).....	60
Illustration 39 : Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie droite).....	61

Liste des annexes

Annexe 1 - Tableau multi-échelles des entités du thème "Sédimentaire"	67
Annexe 2 – Entités partagées avec l'Alsace	77
Annexe 3 - Note méthodologique sur le découpage en domaine de socle	83
Annexe 4 - Lexique de caractérisation des entités hydrogéologiques et des limites	101
Annexe 5 - Le modèle de gestion du référentiel	105

1. Introduction

Ce travail s'inscrit dans le projet national de construction de la deuxième version du Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF-V2, renommée BDLISA en 2008.

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 du soutien financier des Agences de l'Eau, de l'ONEMA (2008-2009) et, antérieurement à 2008, du MEEDM. 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 MEEDM.

La construction du référentiel a été planifiée sur 4 ans (cf. 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.

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, les structures multicouches des bassins sédimentaires en particulier.

Elle tient compte aussi de l'évolution des connaissances géologiques et hydrogéologiques ; elle utilise en particulier, 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.

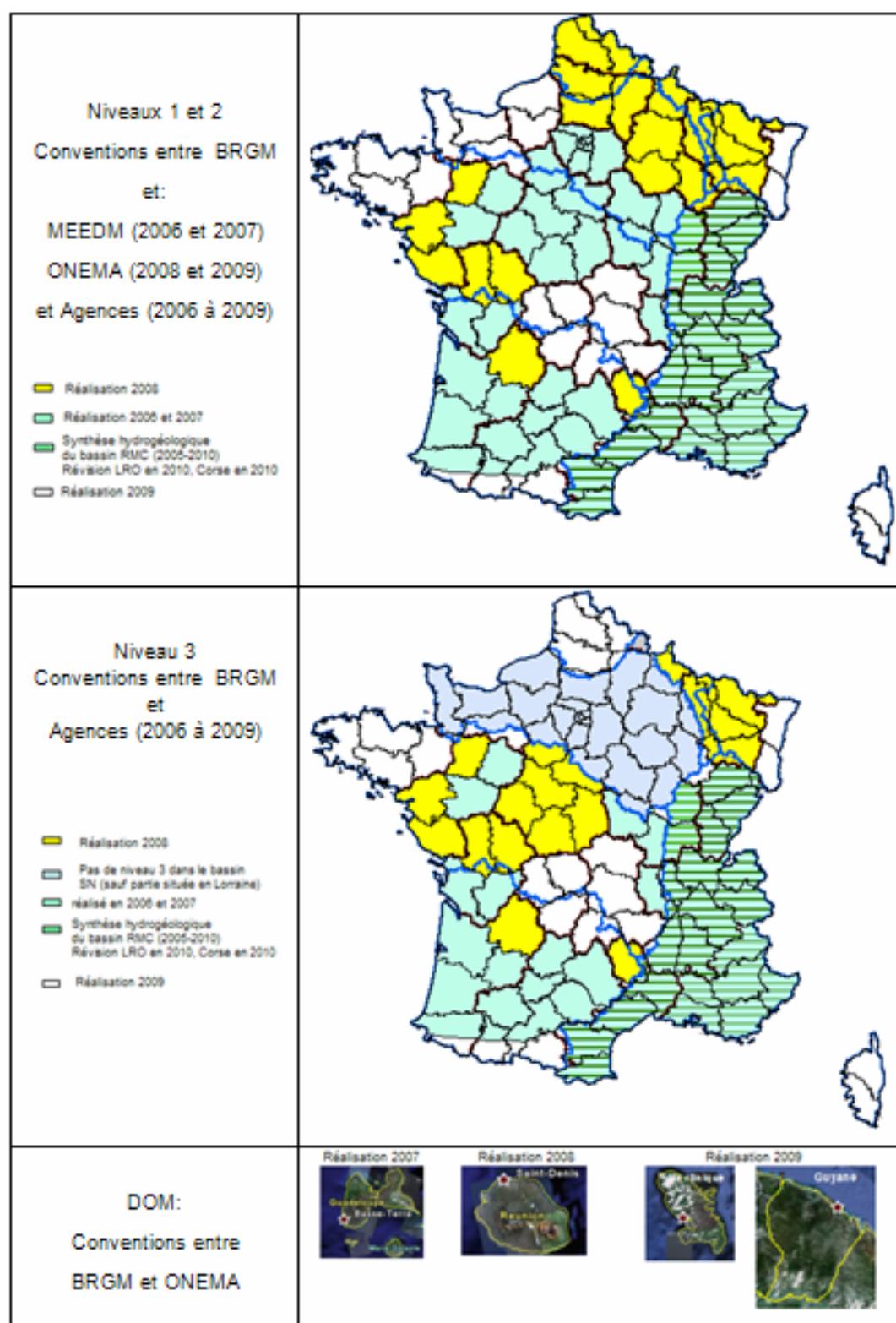


Illustration 1 : Progression du référentiel sur le territoire métropolitain et dans les DOM.

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'Informations Géographiques (SIG) dont la base de données contiendra des informations permettant de caractériser les entités hydrogéologiques.

Zone d'étude

Elle correspond à la région Alsace (illustration 2), région à forts enjeux en matière de gestion des eaux souterraines, avec en particulier la nappe phréatique rhénane, aquifère prépondérant qui occupe la majeure partie de la plaine d'Alsace. Son appartenance à la structure du Fossé Rhénan partagé entre la France et l'Allemagne en fait un élément clé de la gestion transfrontalière des eaux souterraines. L'aquifère rhénan dans son ensemble est l'un des plus importants d'Europe occidentale, mais il est également fortement sollicité pour tous les usages (eau potable, industrie, agriculture). Mais cette ressource en eau, contenue dans des alluvions, est aussi très vulnérable.

Les autres aquifères s'organisent en bordure de la nappe phréatique, du Sundgau dans la partie sud de l'Alsace au Plio-quatenaire d'Haguenau et au champ de fractures de Saverne dans le nord.

Les Vosges constituent un massif essentiellement cristallin dont les ressources en eaux souterraines restent quantitativement peu exploitées. Dans la partie Nord – Ouest, les aquifères de l'*Alsace Bossue* et de la *Vallée de la Plaine* se rattachent au début du système sédimentaire du Bassin Parisien (Formations permo-triasiques surmontant le socle).

L'étude a été réalisée dans le cadre de deux conventions : l'une, nationale, signée en 2009 entre l'ONEMA et le BRGM pour la réalisation des niveaux 1 et 2 du référentiel, l'autre, régionale, signée en 2009 entre l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et le BRGM pour la réalisation du niveau 3, l'Agence apportant aussi un soutien financier pour la réalisation des niveaux 1 et 2.

Le découpage a été réalisé conformément aux recommandations du guide méthodologique national (rapport BRGM/RP-52264-FR) et aux propositions faites en 2007 dans le cadre de l'actualisation de ce guide demandée par le Comité de Pilotage du Référentiel. Il a été mené en concertation avec la région Lorraine et présenté en Janvier 2010 à un "Comité de suivi" mis en place par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

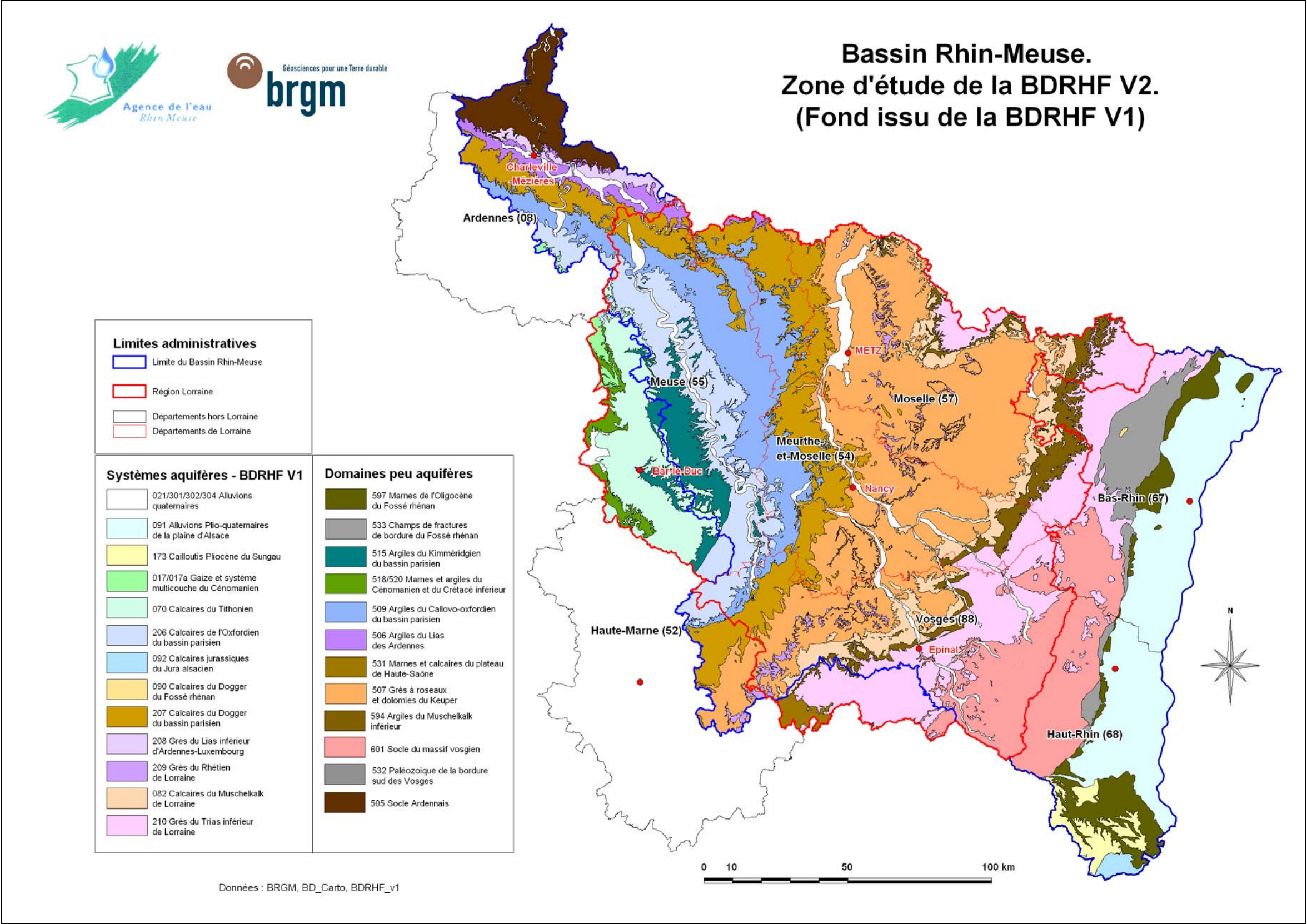


Illustration 2 : Systèmes aquifères et domaines du bassin Rhin-Meuse d'après le référentiel BDRHF-V1

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 5), 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 conductrice 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 suffisante pour être exploitée.

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 sont possibles 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)** qui 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)** qui 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)** qui 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, attribué par le SANDRE, sera 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 provisoires. Une harmonisation sera faite au niveau national lorsque tout le territoire sera couvert par le référentiel (année 5 prévue en 2010).

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 5). 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

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

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 traçages....

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 (cf. 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 (cf. illustration 4b).

Le modèle de gestion du référentiel permet de passer automatiquement du mode de représentation des entités par ordonnancement absolu (illustration 4 b) à un mode de représentation des entités par ordonnancement relatif (cf. 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 1/50 000, 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).

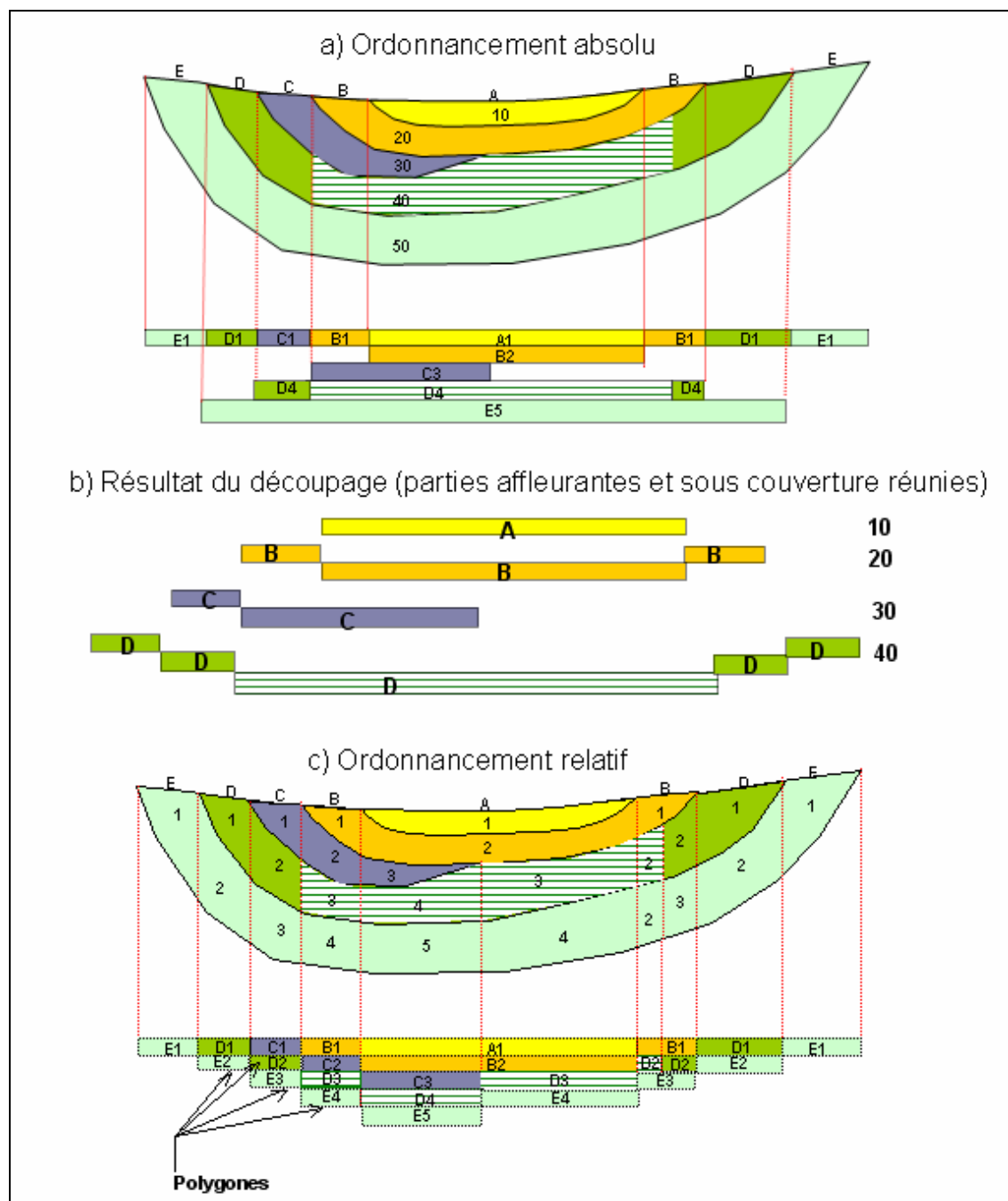


Illustration 4 : Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités.

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'étendant 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 domaine 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 (cf. illustration 5).

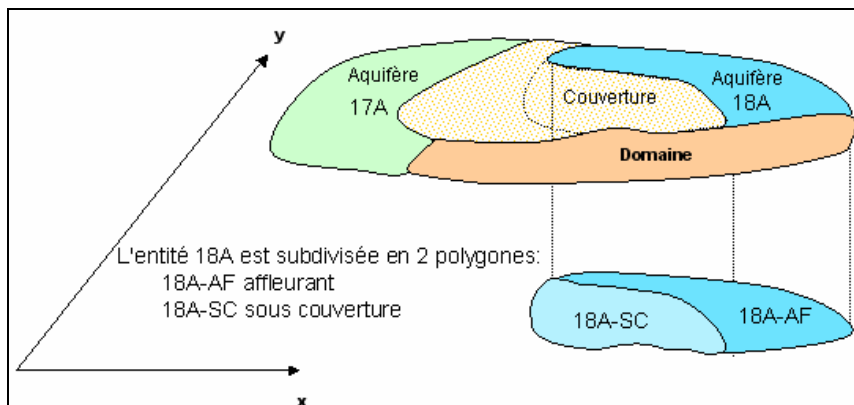


Illustration 5 : Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture.

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, cf. illustration 6).

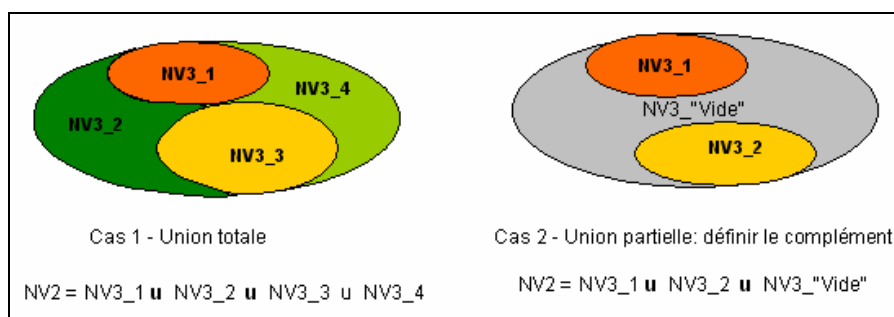


Illustration 6 : Construction d'une entité NV2 à partir des entités NV3.

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 5. 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 (cf. 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.

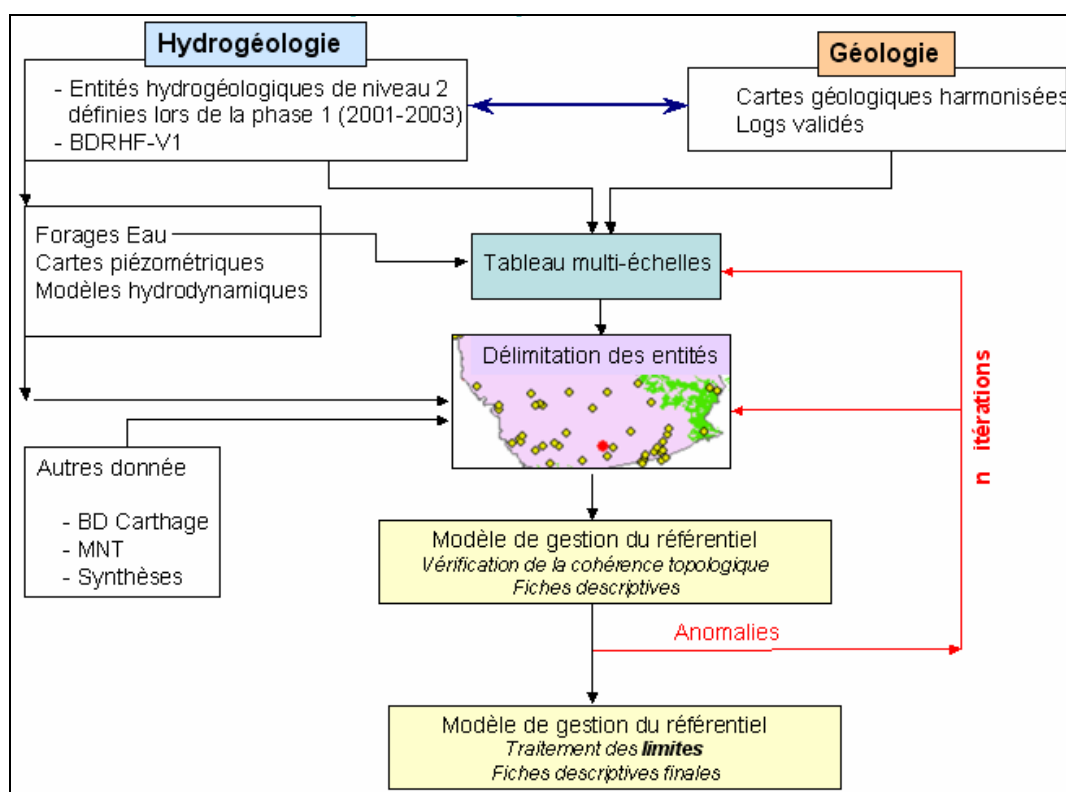


Illustration 7 : Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage. (il manque un s à autres donnée dans le schéma)

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 4) :

- **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 *a fortiori* de niveau 1) par un attribut unique, surtout lorsque les entités de niveau 3 constitutives d'un niveau 2 sont de types différents ; 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 (cf. 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 construits par le modèle de gestion.

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

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

Ces aspects sont détaillés en annexe 5 (§ 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)
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 en Alsace

3.1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE

Pour la mise en œuvre du découpage ont été utilisés :

- les cartes géologiques vectorisées et harmonisées des deux départements (Haut-Rhin et Bas-Rhin) de l'Alsace à l'échelle du 1/50 000 ;
- les cartes géologiques vectorisées à 1/50 000 qui couvrent l'Alsace et leur notice ; (n'est-ce pas la même chose que la ligne précédente ?)
- les logs validés des forages extraits de la Banque de données du Sous-Sol ;
- les polygones des entités issus du découpage indicatif effectué aux niveaux 1 et 2 lors de la phase méthodologique d'élaboration du référentiel (2001-2003) ;
- les informations et cartes issues de différents rapports d'études, dont les plus importants sont mentionnés en référence bibliographique. Plus particulièrement, les travaux effectués et les résultats obtenus dans le cadre de la réalisation de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan ont constitué la base structurante dans la délimitation des entités de la Plaine d'Alsace et du Sundgau.

Spécifiquement pour le domaine de socle du Massif vosgien, les sources de données et d'informations suivantes ont été exploitées :

- la BD-CARTHAGE (Base de Données sur la CARTographie Thématique des Agences de l'Eau et du ministère de l'Environnement) du bassin Rhin – Meuse, version 2009 ;
- les résultats obtenus par le CEGUM (Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz) dans le cadre d'un travail effectué pour l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

3.1.1. Les cartes géologiques harmonisées

Les cartes géologiques harmonisées des deux départements de la Région Alsace identifient **473 formations géologiques** constituées par 15 580 polygones. L'illustration 9 présente les cartes géologiques utilisées pour la synthèse géologique dans chaque département.

3.1.2. Logs géologiques

De la Banque de Données du Sous-Sol, **1728 forages** ont été extraits, sur une superficie couvrant l'Alsace (illustration 10). Ces forages totalisent **28741 passées lithologiques** décrites et validées. Ces passées lithologiques sont rattachées à **174 formations géologiques** différentes, clairement identifiées et codées (ou codifiées ?).

Ces données ont essentiellement servi à vérifier au cas par cas les limites ou les extensions sous couverture d'entités issues des travaux antérieurs, notamment de la BRAR (Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan).

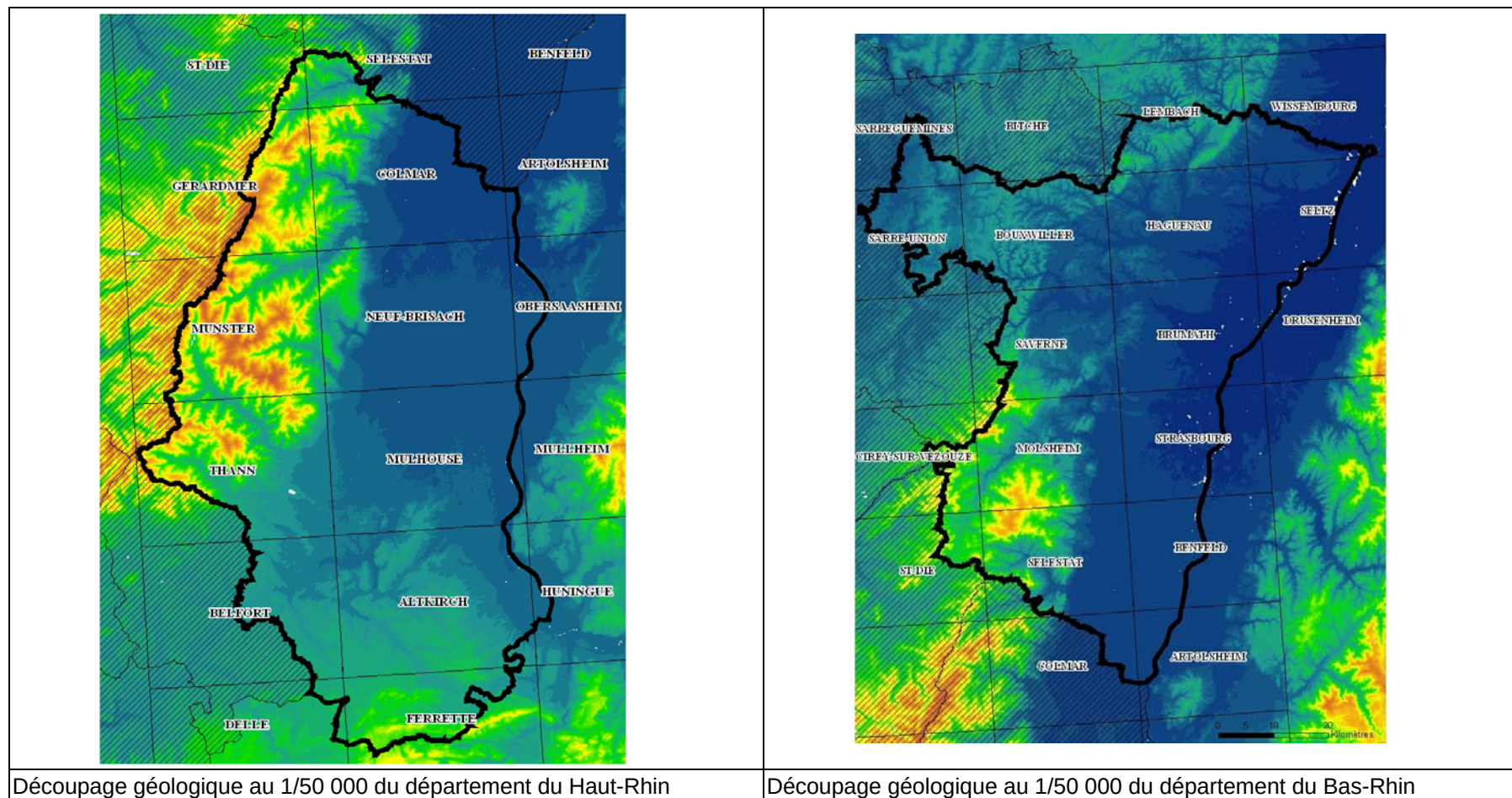


Illustration 9 – Carroyage des cartes géologiques pour les deux départements de l'Alsace

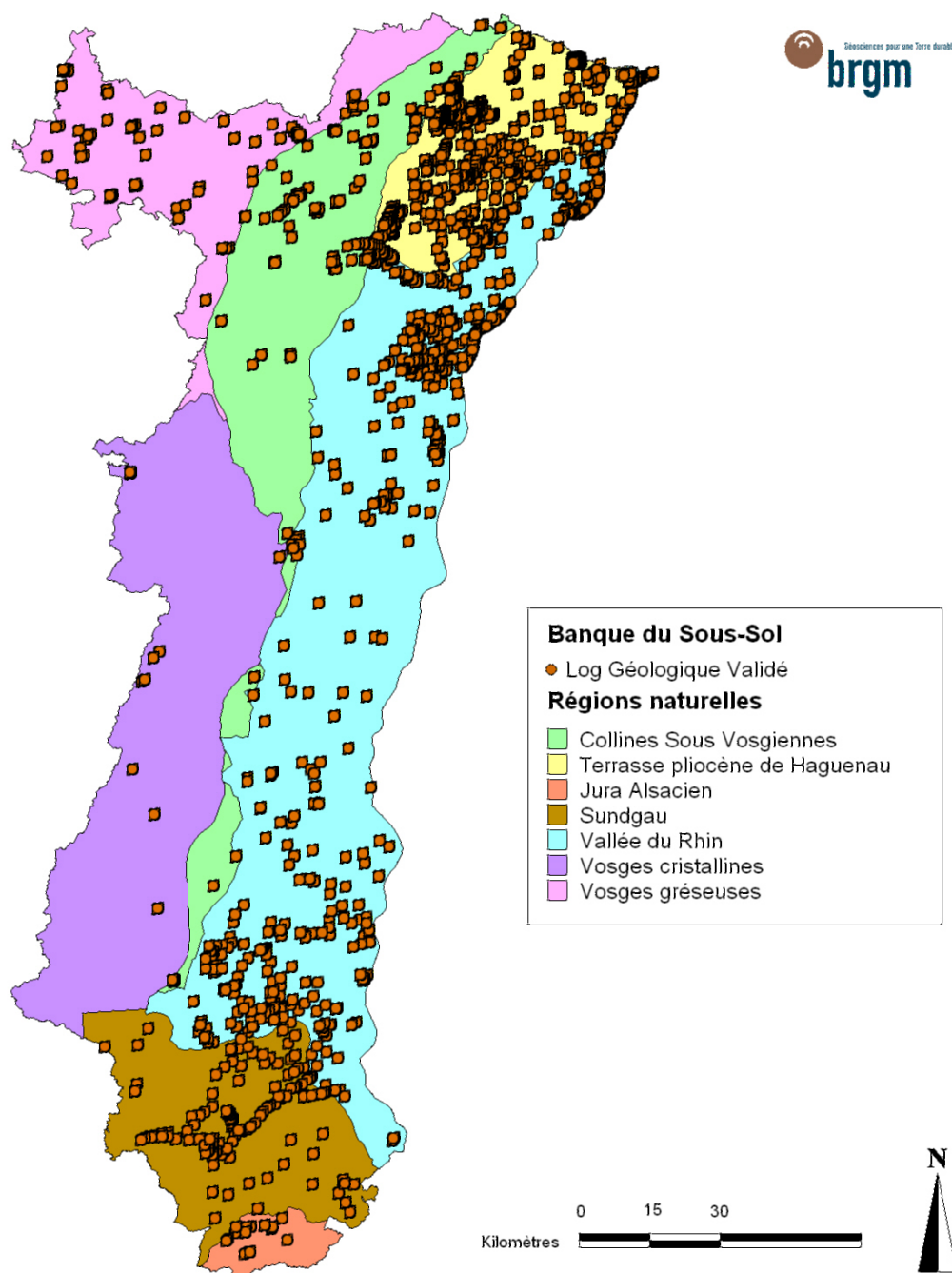


Illustration 10 – Localisation des logs validés extraits de la Banque de données du Sous-Sol

3.2. DÉMARCHE POUR IDENTIFIER ET DÉCOUPER LES ENTITÉS DU THÈME SÉDIMENTAIRE

3.2.1. Déroulement des tâches pour les parties affleurantes des entités

L'identification des entités se fait d'abord au niveau local (NV3) et le découpage concerne dans un premier temps les parties affleurantes de ces entités.

Les cartes géologiques vectorisées au 1/50 000 constituent le support géologique de base et fournissent l'information la plus précise pour la délimitation des entités sous forme d'unités (aquifère, semi-perméable ou imperméable). Elles sont utilisées de préférence aux cartes harmonisées départementales où des formations géologiques ont été regroupées alors que leur nature hydrogéologique est différente. Une difficulté rencontrée est l'établissement d'une correspondance stricte entre entités hydrogéologiques et formations géologiques des cartes au 1/50 000 d'une part et entre formations géologiques des cartes et formations géologiques mentionnées dans les logs de forages d'autre part.

Les tâches d'identification et de découpage présentées ci-après sont réalisées pas à pas, par grand ensemble de formations, suivant un ordonnancement stratigraphique, en partant des formations les plus anciennes.

- **Identification des entités par traitement de données**

La 1^{ère} tâche consiste à regrouper dans un document de travail, pour un ensemble de mêmes formations géologiques, les caissons¹ des cartes concernées et les informations de la notice, notamment l'hydrogéologie. Ce document permet d'avoir une vision globale de la géologie, d'identifier les formations, d'établir les liens entre formations de même nature sur différentes cartes, mais pouvant être définies ou groupées sous des libellés ou codes différents.

Faire des regroupements pertinents de caissons nécessite de comprendre au mieux ce qui peut les différencier sur les plans lithologique et hydrogéologique et comment les formations s'organisent verticalement et latéralement. L'analyse de ce document est donc complétée par la consultation des notices, des cartes harmonisées départementales et des données de référence listées (cf. § 3.1).

Cette tâche aboutit à une 1^{ère} identification des entités hydrogéologiques.

- **Etablissement du tableau multi-échelles**

A partir de l'analyse précédente, il est possible de commencer à élaborer un tableau multi-échelles. Celui-ci ordonne, pour une grande formation géologique identifiée, la succession des entités hydrogéologiques de niveau 3 qui la constitue, leur attribue une nature et un libellé explicite et les rattache à un domaine ou un système de niveau 2, lui-même étant rattaché à un grand système ou domaine de niveau 1.

- **Tracé des contours de chaque entité**

Une fois définies les entités et leurs limites, il s'agit de procéder au tracé de leurs contours (sous SIG). Pour le réaliser, l'extraction des contours géologiques vectorisés disponibles en l'état ne suffit pas. En effet, il est nécessaire :

- d'une part, de réaliser de nouvelles vectorisations au niveau des contacts entre cartes géologiques pour assurer la continuité des entités ;

¹ Un caisson correspond à une formation géologique (figurée et libellée lithostratigraphique)

- d'autre part, notamment pour les secteurs où, sur la carte géologique, des formations superficielles (limons, alluvions...) masquent le substratum, de connaître la nature des formations sédimentaires sous-jacentes afin de définir les contours des entités.

Les informations fournies par les logs vérifiés de sondages extraits de la BSS, les ouvrages identifiant des nappes d'eau souterraine exploitées ou reconnues, les données issues d'études et de synthèses, aident alors à l'interprétation et à la délimitation des entités. La présence non systématique de sondages dans certains secteurs peut rendre ce travail complexe et aboutir à une imprécision des limites.

Les cartes topographiques IGN aident également à la délimitation des entités. Elles sont utilisées notamment pour délimiter les contours des formations sous les placages de formations superficielles, en suivant les courbes de niveau (et en supposant que le pendage de la formation est faible).

Les cartes harmonisées départementales sont utilisées comme complément d'information, notamment aux contacts entre feuilles géologiques.

Cette première étape de tracé des contours permet de mieux visualiser les entités NV3 définies. Elle fait ressortir des difficultés de délimitation liées aux variations de faciès (entités contigües délicates à délimiter), au manque de données pour tracer l'extension ou, plus rarement, à un degré de précision différent d'une carte à une autre (limite ne pouvant être prolongée).

- **Révision du tableau multi-échelle**

Prenant en compte les contours réalisés et les difficultés rencontrées, l'expertise de l'hydrogéologue et du géologue permet de réviser le tableau multi-échelles et redéfinir les entités en procédant à des regroupements ou, au contraire, à des dissociations.

- **Reprise du tracé des contours**

En fonction de la nouvelle définition des entités, les tracés sous SIG sont révisés.

- **Réitération des tâches précédentes**

Un nouveau déroulement des tâches se fait à partir de l'identification des entités appartenant à un nouvel ensemble de formations géologiques.

- **Vérification de la cohérence, homogénéisation**

Enfin, un échange d'informations est établi avec le référent national et les réalisateurs d'autres régions et bassins afin d'homogénéiser les travaux et regrouper les entités de niveau 3 dans des entités des niveaux 2 et de niveau 1 homogènes.

3.2.2. Tracé des limites pour les parties sous couverture des entités

L'interprétation hydrogéologique détaillée de niveau local (niveau 3) sous couverture ne peut être parfois réalisée précisément en raison de l'absence de données (logs vérifiés) et d'informations permettant de préciser les caractéristiques hydrogéologiques. En effet, des variations localisées de faciès ainsi que des lacunes géologiques sont possibles et, en l'absence de données, rendent difficiles une délimitation et une caractérisation précises.

Les ouvrages de la BSS, dont notamment ceux identifiant des nappes d'eau souterraine exploitées ou reconnues ont complété l'information.

3.3. DESCRIPTION DES ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES DU THÈME SÉDIMENTAIRE

L'Alsace peut être décrite par de grands ensembles conjoints ayant chacun des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques distinctes :

- l'Alsace Bossue ;
- la Plaine Alluviale Rhénane ;
- le Sundgau ;
- les Zones de Fractures ;
- les Vosges Cristallines.

Par la suite, au cours de l'application de la méthodologie BD-LISA, ces grands ensembles ont été préservés, mais avec un découpage plus détaillé.

Les paragraphes qui suivent abordent chaque ensemble en y associant des extraits de découpages d'entités et de la partie du tableau multi-échelle correspondante.

3.3.1. L'Alsace bossue

L'Alsace Bossue est une zone située au Nord-Ouest qui s'encastre géographiquement et géologiquement dans la Lorraine. Il s'agit de formations sédimentaires qui appartiennent à la structure du Bassin Parisien. Cette partie de l'Alsace s'intègre ainsi dans un grand système multicouche dénommé **GSM du Trias de Lorraine et d'Alsace**. La série rencontrée est d'âge permo-triasique et s'étend du Keuper dans sa partie supérieure aux Grès du buntsandstein voire aux Grès permien à sa base. L'ensemble plonge vers l'ouest et repose sur le socle. Les failles bordant le champ de fractures de Saverne en représentent la limite Est. L'illustration 11 décrit la succession des entités hydrogéologiques de l'Alsace bossue (qui s'étendent aussi en région Lorraine).

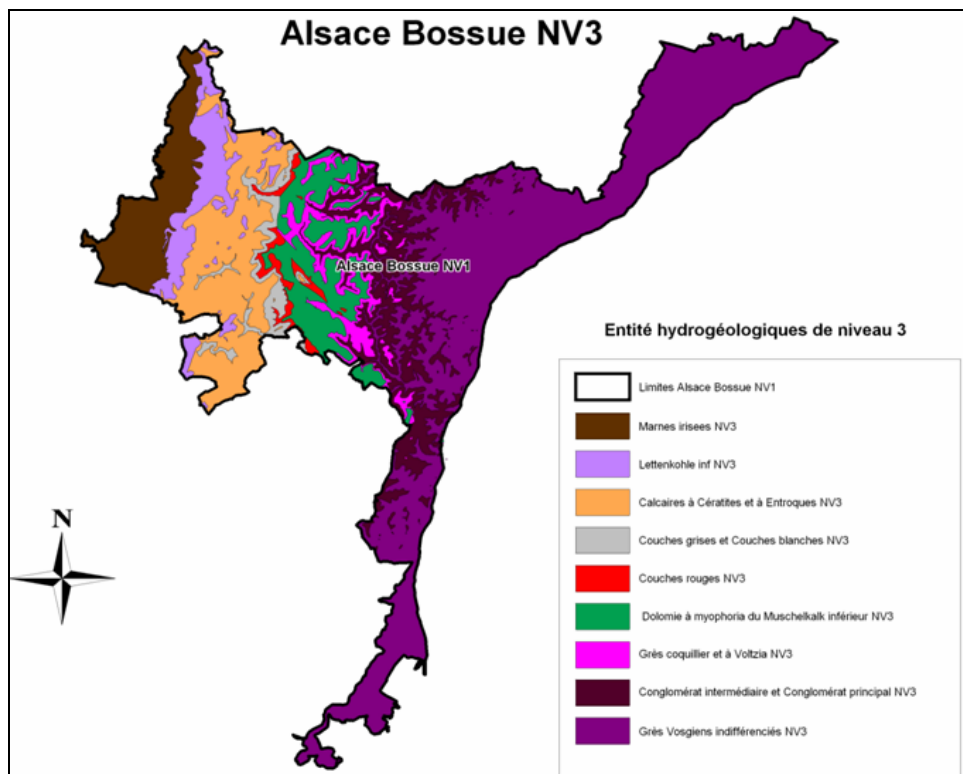


Illustration 11 – Découpage en entités NV3 de l'Alsace Bossue.

D'Ouest en Est, de la partie supérieure jusqu'à la base, 9 entités de niveau 3 ont été délimitées:

- les **Marnes irisées du Keuper inférieur** qui constituent une formation imperméable présente à l'extrême Ouest de la zone. Il s'agit de la formation est essentiellement constituée par des marnes et argiles aux teintes variées, grises, vertes, rouges ou violettes ;
- les niveaux dolomitiques du Lettenkohle (supérieur et moyen, inférieur) constituent des horizons plus ou moins aquifères. La partie supérieure ("*Dolomie limite*") est séparée de la partie basale (*Dolomie inférieure*) par une couche intermédiaire plutôt imperméable (*Argiles bariolées*). Les niveaux dolomitiques (*Dolomie limite* et *Dolomie inférieure*) donnent fréquemment naissance à des sources dont les eaux, quoique souvent de qualités chimique « assez dures », peuvent être utilisées pour l'alimentation. Les deux entités suivantes ont été distinguées, la première considérée comme semi-perméable, la seconde comme aquifère:
 - ***Dolomie limite (si différenciée), Dolomie et Marnes bariolées de la Lettenkohle de Lorraine et d'Alsace ;***
 - ***Dolomie inférieure de la Lettenkohle d'Alsace et de Lorraine.***
- Les **Calcaires à cératites et à entroques** constituent un ensemble aquifère. Les *Couches à Cératites* comprennent environ 50 m de dalles calcaires alternant avec des marnes. Les *Calcaires à entroques* sont des Calcaires en gros bancs dont l'ensemble peut atteindre 10 mètres d'épaisseur. Sont associés à cette succession les formations dites "*Couches blanches*" et "*Couches grises*" qui forment un complexe d'assises marneuses et dolomitiques renfermant à différents niveaux, mais principalement à la base, des amas lenticulaires de gypse ou d'anhydrite. La caractéristique aquifère de l'ensemble est attestée par l'existence de sources nombreuses, mais de débits assez faibles. Leurs eaux sont parfois minéralisées par suite de la présence de lentilles de gypse irrégulièrement intercalées dans les *Couches grises*.
- L'entité sous-jacente regroupe plusieurs couches d'argiles et de marnes pour former une entité considérée comme semi-perméable et appelée :
 - ***Couches blanches, grises et rouges de Lorraine et d'Alsace du Muschelkalk moyen et inf.***
- Suit une série calcaro – dolomitique et marneuse comprenant un horizon médian argileux. L'ensemble est daté du Muschelkalk inférieur. L'ensemble constitue une entité semi-perméable qui a été appelée :
 - ***Dolomie à *Myophoria orbicularis*, Marnes à *Myacites* (et Grès coquillier indifférencié) du Muschelkalk inférieur de Lorraine et d'Alsace.***
- Les formations essentiellement gréseuses sous-jacentes forment un système aquifère majeur, largement exploité en Lorraine. Ce système regroupe le **Grès coquillier et le Grès à Voltzia** qui marquent la limite entre le Muschelkalk et le Buntsandstein. Cette entité aquifère a été appelée :
 - ***Grès coquillier et Grès à Voltzia du Muschelkalk inférieur et du Buntsandstein supérieur de Lorraine et d'Alsace.***

- On trouve ensuite l'épaisse série (500 m) des *Grès et Poudingues du Buntsandstein*, comprenant des intercalations sablo- argileuse et subdivisées en 2 entités hydrogéologiques qui ont été appelées :

- **Couches intermédiaires et Conglomérat principal du Buntsandstein supérieur de Lorraine et d'Alsace ;**
- **Grès vosgien s.s. et Conglomérat inférieur de Lorraine et Grès Vosgiens indifférenciés du Buntsandstein et du Permien d'Alsace.**

La coupe de l'illustration 12 ci-après montre la succession de cette série aquifère. La série peut reposer directement sur le socle. Lorsque les grès triasiques reposent sur des grès permien, ces derniers sont inclus dans le système aquifère.

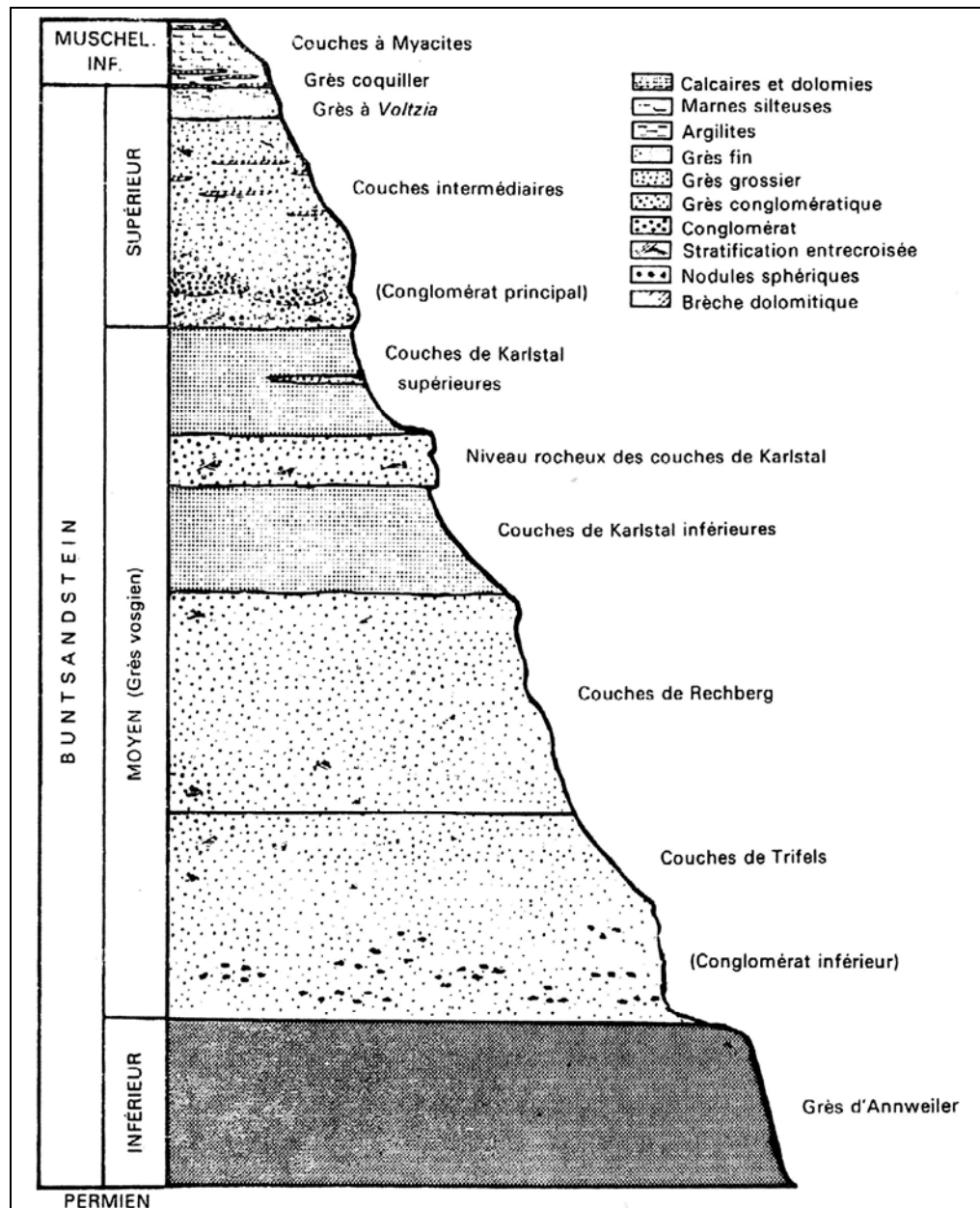


Illustration 12 – Stratigraphie détaillée du Buntsandstein
Notice de la feuille de Lembach (Menillet et al., 1989)

Le tableau multi-échelle est le suivant :

Code	Entité de niveau 2	Code	Entité de niveau 3
Code	Entités de niveau 2	Code	Entités de niveau 3
149C	Marnes du Keuper de Lorraine et d'Alsace	149C05	Marnes irisées inférieures du Keuper de Lorraine et d'Alsace
149E	Dolomies et Marnes de la Lettenkohle de Lorraine et d'Alsace	149E01	Dolomie limite (si différenciée), Dolomie et Marnes bariolées de la Lettenkohle de Lorraine et d'Alsace
		149E03	Dolomie inférieure de la Lettenkohle d'Alsace et de Lorraine
149G	Calcaires du Muschelkalk supérieur de Lorraine et d'Alsace	149G01	Calcaires à cératites et Calcaires à entroques du Muschelkalk supérieur de Lorraine et d'Alsace
149I	Marnes et Argiles du Muschelkalk moyen et inférieur de Lorraine et d'Alsace	149I01	Couches blanches, grises et rouges de Lorraine et d'Alsace du Muschelkalk moyen et inf.
		149I03	Dolomie à Myophoria orbicularis, Marnes à Myacites (et Grès coquillier indifférencié) du Muschelkalk inférieur de Lorraine et d'Alsace
149K	Grès du Buntsandstein de Lorraine et d'Alsace	149K01	Grès coquillier et Grès à Voltzia du Muschelkalk inférieur et du Buntsandstein supérieur de Lorraine et d'Alsace
		149K03	Couches intermédiaires et Conglomérat principal du Buntsandstein supérieur de Lorraine et d'Alsace
		149K05	Grès vosgien s.s. et Conglomérat inférieur de Lorraine et Grès Vosgiens indifférenciés du Buntsandstein et du Permien d'Alsace

Illustration 13 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 de l'Alsace bossue

3.3.2. La plaine d'Alsace

Cette entité est, par contraste avec le massif vosgien et ses contreforts, facilement identifiable. Il en va tout autrement lorsqu'il s'agit de d'identifier des unités hydrogéologique cohérentes. A l'aide des références bibliographiques et des travaux de modélisation hydrogéologique ont été définis les sous-ensembles suivant :

3.3.2.1. Le Plio-Quaternaire du Fossé Rhénan

Comme évoqué précédemment, ce grand système aquifère est localisé dans la plaine du Rhin. Très perméable et d'une épaisseur allant de 10 à 250 m, il se compose d'alluvions d'origine diverses dont la composition varie aussi bien en profondeur que latéralement. L'illustration 14 montre une coupe illustrant ces variations.

Cette entité majeure de l'Alsace (3 000 km² environ) a été subdivisée en :

- alluvions rhénanes d'une part (alluvions d'origine alpine) ;
- alluvions vosgiennes d'autre part (alluvions de bordure).

Cette dichotomie se double d'une différenciation entre alluvions récentes (tranche superficielle du système aquifère) et alluvions anciennes, basée sur la modélisation hydrogéologique réalisée dans le cadre du projet MONIT du programme INTERREG

III. Cette différenciation se base sur des caractéristiques hydrogéologiques distinctes. L'illustration 15 ci-après présente les deux découpages réalisés.

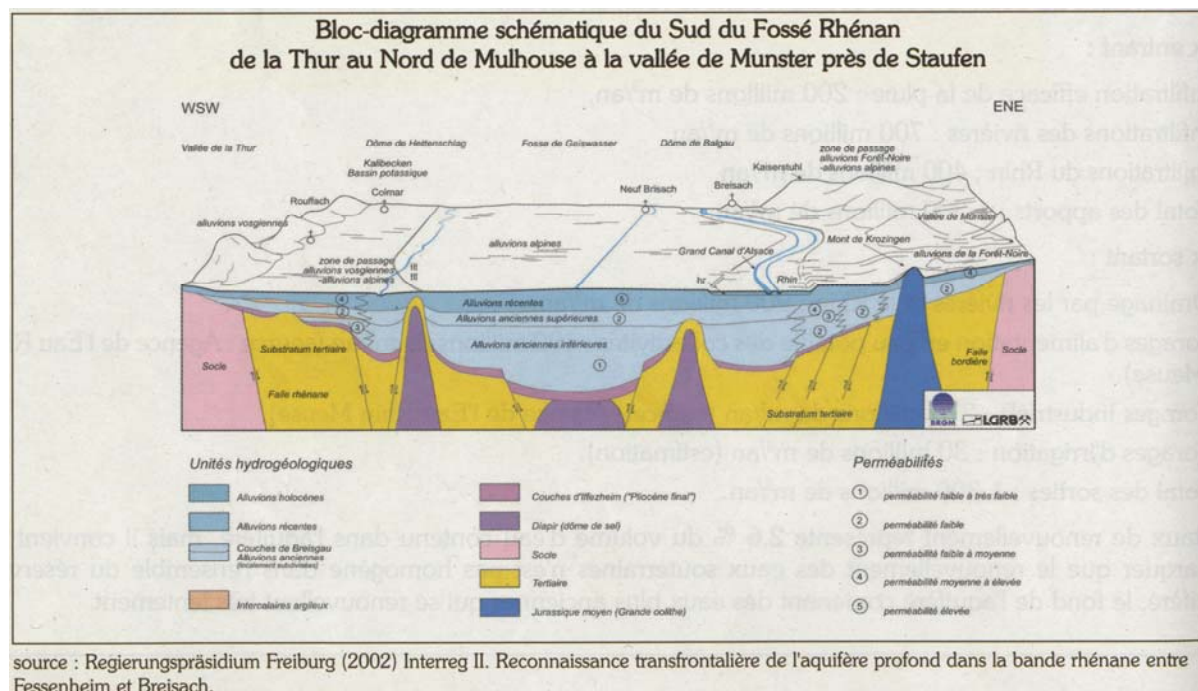


Illustration 14 – Coupe schématique du Sud du Fossé Rhénan

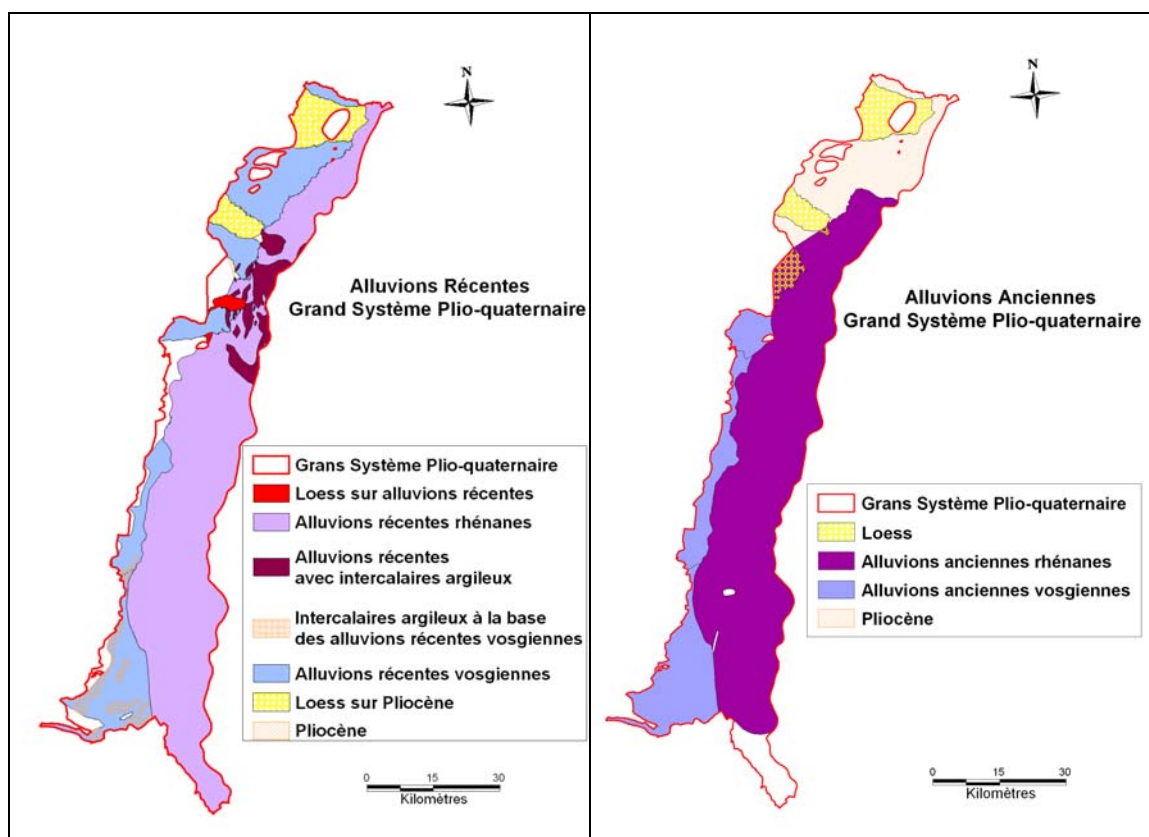


Illustration 15 – Découpage du système plio –quaternaire de la plaine d'Alsace

Certaines intercalations argileuses significatives interviennent dans le découpage. Il s'agit de niveau argileux entre les alluvions vosgiennes récentes et anciennes (partie sud-ouest de la cartographie des alluvions récentes) et de niveau argileux à l'intérieur des alluvions rhénanes récentes (partie nord de la cartographie des alluvions récentes). Cette dernière intercalation joue localement un rôle d'écran important pour le dimensionnement de systèmes géothermiques en région strasbourgeoise.

Les alluvions pliocènes d'Haguenau – Riedseltz qui affleurent dans le Nord de l'Alsace se raccordent aux alluvions rhénanes anciennes.

Le tableau multi-échelle est présenté par l'illustration 16.

Code	Entités de niveau 2	Code	Entités de niveau 3
201A	Alluvions récentes de la Plaine d'Alsace	201A01	Alluvions récentes vosgiennes de la Lauter
		201A03	Alluvions récentes vosgiennes de la Moder et de la Sauer
		201A05	Alluvions récentes vosgiennes de la Zorn
		201A07	Alluvions récentes vosgiennes de la Zorn avec intercalaire argileux
		201A09	Alluvions récentes vosgiennes de la Bruche
		201A11	Alluvions récentes vosgiennes de la Bruche avec intercalaire argileux
		201A13	Alluvions récentes vosgiennes de la Doller, Thur et Lauch
		201A15	Alluvions récentes vosgiennes de la Giessen, Fecht
		201A17	Alluvions récentes rhénanes
		201A19	Alluvions récentes rhénanes avec intercalaire argileux
		201A21	Intercalaires argileux de la Plaine d'Alsace
201C	Alluvions anciennes de la Plaine d'Alsace	201C01	Alluvions vosgiennes anciennes de la Bruche
		201C03	Alluvions vosgiennes anciennes de l'Ehn
		201C05	Alluvions vosgiennes anciennes de la Giessen, Fecht et Andlau
		201C07	Alluvions vosgiennes anciennes de la Doller, Thur et Lauch
		201C09	Alluvions anciennes rhénanes
201E	Formations du Pliocène de la Plaine d'Alsace	201E01	Formations du Pliocène de la Plaine d'Alsace

Illustration 16 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 du Plio-Quaternaire de la Plaine d'Alsace

La série oligocène qui constitue le substratum imperméable de l'aquifère rhénan a revêtu, dans la région, une importance économique particulière. En effet, elle contient vers le nord les horizons pétrolifères, bitumineux et salifères qui ont donné lieu aux exploitations de la région de Pechelbronn et vers le sud les horizons salifères qui ont donnés lieu aux exploitation de mines de Potasse de la région de Mulhouse. Il s'agit globalement d'une variation latérale de facies dont la délimitation a pu être cartographiée (lustration 17). Dans la partie nord, l'entité alluvionnaire Pliocène a été visualisée - bien qu'elle appartienne au grand système Plio-quaternaire de la Plaine d'Alsace - afin de montrer sa position de couverture partielle de l'Oligocène.

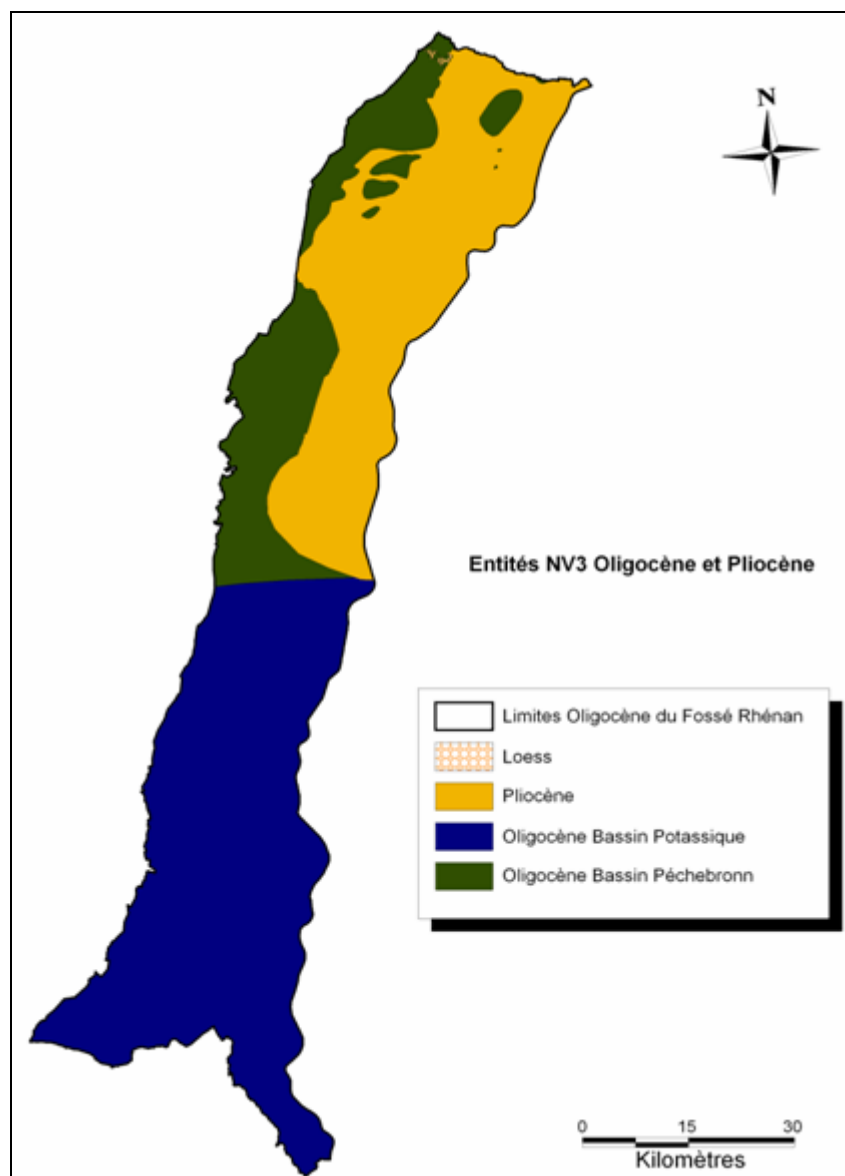


Illustration 17 – Oligocène (et Pliocène) du Fossé Rhénan

Le tableau multi-échelle est le suivant :

Code	Entité de niveau 2	Code	Entité de niveau 3
205A	Formations Oligocène du Fossé Rhénan	205A01	Formations Oligocènes du Bassin Salifère
		205A02	Formations Oligocènes du Bassin du Pêchebronn

Illustration 18 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 de l'Oligocène du Fossé Rhénan

3.3.3. Formations du Fossé rhénan pré-Tertiaire

La surface estimée située sous les formations de l'Oligocène n'est pas uniforme : elle est le résultat d'une érosion, à partir du Portlandien, des formations émergées se succédant en de larges anticlinaux et synclinaux. Certaines formations se retrouvent donc tronquées par érosion.

Plus en profondeur se succèdent les formations allant du Jurassique au Trias inférieur. Elles sont regroupées en des entités aquifères ou non dont les contours épousent les limites du Fossé Rhénan à l'Ouest et la frontière avec l'Allemagne à l'Est. La série entière repose sur le socle qui a fait l'objet d'une analyse particulière.

Les entités qui se succèdent de "haut en bas" sont les suivantes :

- les **Calcaires du Malm** : ils ont été reconnus aquifères par quelques forages, situés essentiellement dans le sud du Fossé rhénan. Il s'agit essentiellement de calcaires blanc ou gris, compacts ou marneux ainsi que de marnes gréseuses ou jaunâtres. Suite à l'érosion de la surface pré-Tertiaire, leur épaisseur est variable, atteignant 122 mètres au sud de Mulhouse ;
- les **formations marno-calcaires allant du Rauracien au Bathonien** sont regroupées en une unité imperméable ;
- le faciès calcaire dit de la "**Grande Oolithe bajocienne**" a été reconnu aquifère par de nombreux forages réalisés dans le Fossé rhénan. Cette formation calcaire se situe à une profondeur variant entre 700 et 2000 mètres. Son épaisseur varie entre 0 et 200 mètres. En effet la formation disparaît vers le Nord du Fossé Rhénan pour faire place à un faciès marneux imperméable. La délimitation entre ces deux entités conjointes a été réalisée à l'aide des logs validés ;
- les **formations argileuses, marneuses, calcaires ou gréseuses** allant de l'**Aalénien au Keuper** sont regroupées en une unité imperméable ;
- la série des **Calcaires du Muschelkalk supérieur** (*Calcaires à térébratules, à cératites et à entroques*) a été reconnue aquifère par de nombreux forages exécutés dans le Fossé rhénan. Les **formations du Lettenkohle** (dolomies, calcaires, marnes et grès) surmontent cette série. Les **marnes du Muschelkalk moyen** constituent le substratum de cette série calcaire.
Ces 3 entités de niveau 3 ont été regroupées en une entité de niveau 2, aquifère, appelée "*Calcaires et Marnes du Muschelkalk et Lettenkohle*", dont la profondeur varie de 400 à 3 000 m et l'épaisseur de 55 à 110 m ;
- Le **Muschelkalk inférieur**, essentiellement gréseux (grès coquillier) et la série sous-jacente des grès et conglomérats du Trias suivie éventuellement des grès permien constituent le dernier système aquifère sédimentaire avant le socle. Sa profondeur varie de 400 m à 3 200 mètres et son épaisseur varie de 50 à 500 mètres.

L'illustration 19 montre l'allure de la surface pré-Tertiaire ainsi que la délimitation du niveau bajocien en deux unités distinctes (aquifères et imperméables).

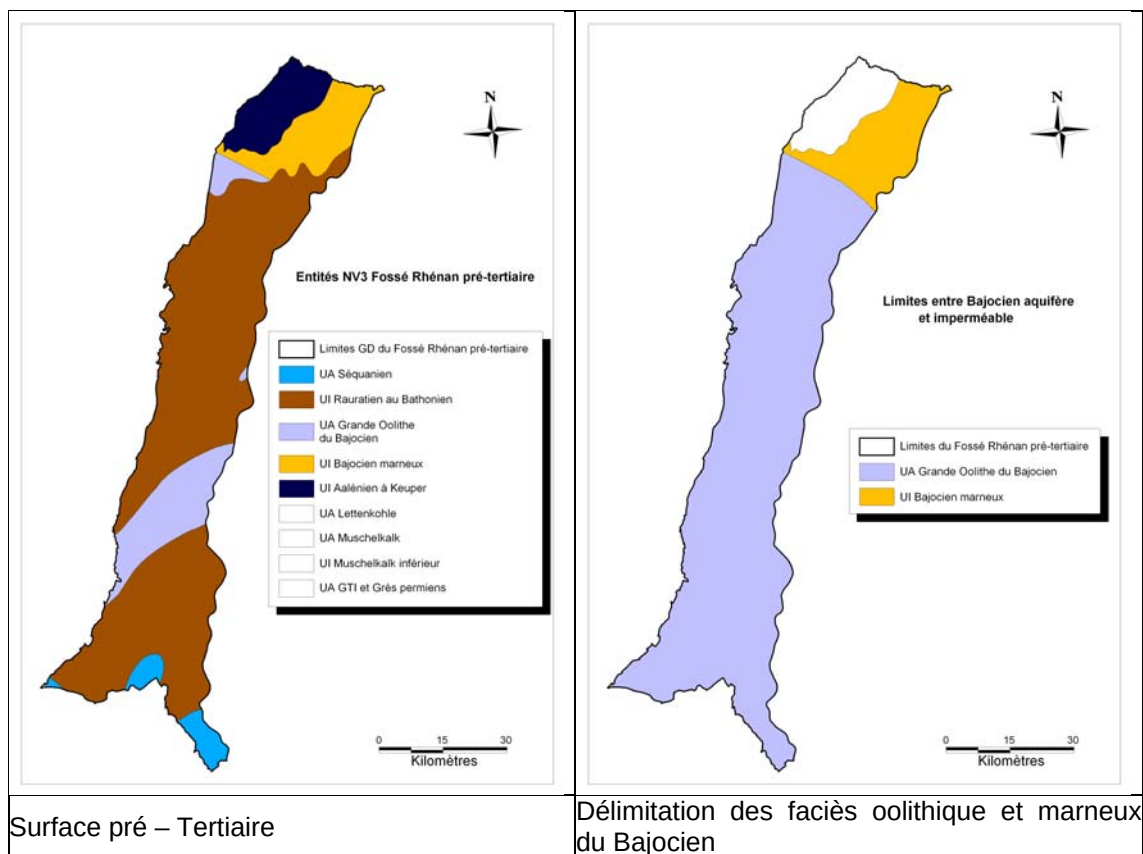


Illustration 19 – Découpage de la plaine d'Alsace (unités pré-Tertiaire)

Le tableau multi-échelle est le suivant :

Code	Entité de niveau 2	Code	Entité de niveau 3
215E	Calcaires du Malm (Séquanien)	215E01	Calcaires du Malm (Séquanien)
215G	Marnes et Calcaires du Rauracien au Bathonien (Rauracien, Oxfordien, Callovien, Bathonien)	215G01	Marnes et Calcaires du Rauracien au Bathonien (Rauracien, Oxfordien, Callovien, Bathonien)
215I	Calcaires et Marnes du Bajocien	215I01	Calcaire de la Grande Oolithe bajocienne
		215I03	Formations marneuses du Bajocien
215K	Formations majoritairement argilo-marneuses et calcaires de l'Aalénien au Keuper (Aalénien, Toarcien, Pliensbachien, Sinémurien, Hettangien, Rhétien, Keuper)	215K01	Formations majoritairement argilo-marneuses et calcaires de l'Aalénien au Keuper (Aalénien, Toarcien, Pliensbachien, Sinémurien, Hettangien, Rhétien, Keuper)
215M	Calcaires et Marnes du Muschelkalk et Lettenkohle	215M01	Calcaire de la Lettenkohle
		215M03	Calcaire du Muschelkalk
		215M05	Muschelkalk Inférieur / Marnes
215P	Grès du Trias inférieur et Grès du Permien	215P01	Grès du Trias inférieur et Grès du Permien

Illustration 20 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 du Fossé Rhénan pré-Tertiaire

Remarque : le socle profond

Le substratum, c'est-à-dire le socle a fait l'objet d'un découpage (illustration 21) sur la base d'un recoupement de deux informations indépendantes :

- l'existence d'une cartographie lithologique réalisée à partir de travaux de reconnaissance géoélectrique (EDEL et al. 2002). Cette cartographie distingue ainsi des zones de roche plutonique et des zones de roches métamorphiques ;
- le résultat d'une étude allemande (STOBER, 1996) sur les caractéristiques des roches cristallines de socle sur la partie allemande du Fossé rhénan et pour le massif de la Forêt-Noire. Il apparaît que les roches plutoniques sont plus perméables que les roches métamorphiques bien que ces deux unités restent dans le domaine semi perméable.

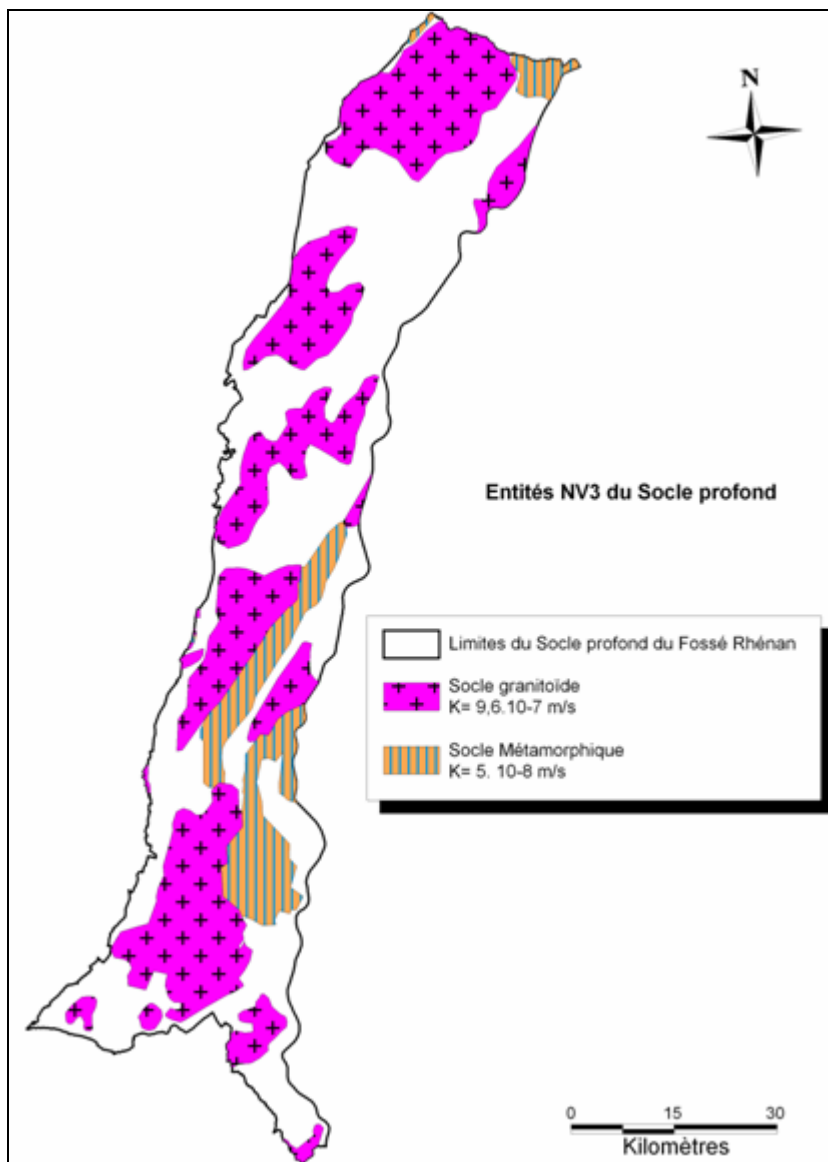


Illustration 21 – Découpage de la plaine d'Alsace (unités de socle)

3.3.4. Le Sundgau

Le Sundgau constitue la zone limitrophe Sud de l'Alsace, ne possédant pas les capacités aquifères de la nappe phréatique rhénane. Les aquifères sont

insuffisamment reconnus. La carte d'ensemble se base sur les délimitations issues du projet " Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan".

Trois grandes entités ont été identifiées pour le découpage :

- la partie comprenant les unités de Cailloutis et de Molasse affleurantes et les autres entités de niveau 1 sous-jacentes ;
- le Horst de Mulhouse, bien délimité géographiquement par un système de failles ;
- le Jura alsacien à l'extrême sud qui s'apparente aux structures plissées rencontrées en Franche Comté.

L'illustration 22 présente l'extension géographique de ces entités.

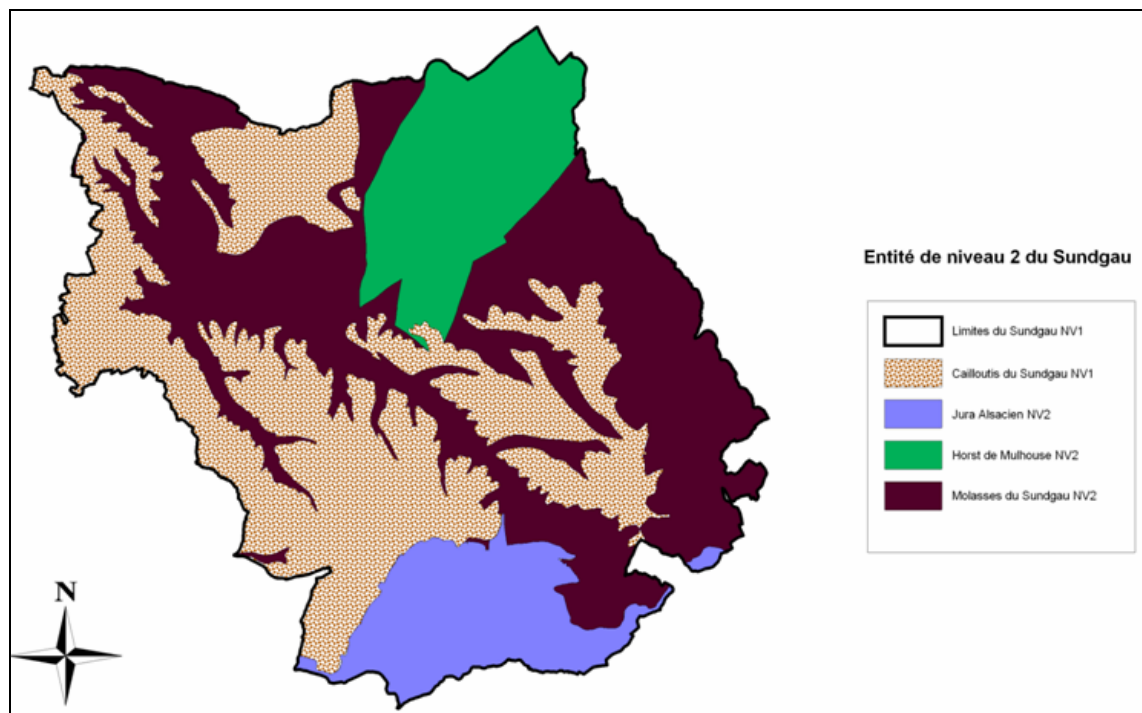


Illustration 22 – Découpage du Sundgau

3.3.4.1 Les cailloutis du Sundgau

Les *cailloutis du Sundgau* sont des alluvions pliocènes composées de matériaux alpins ou vosgiens. Les rivières principales ont entaillé cet horizon jusqu'à son soubassement, isolant des ensembles indépendants de plus de 50 km². Ils constituent ainsi des plateaux en placages, d'un vingtaine de mètres d'épaisseur reposant sur la *Molasse alsacienne* sous-jacente. Les aquifères se trouvent en position perchée par rapport au fond des vallées qui les encadrent. Le pourtour des affleurements des *cailloutis du Sundgau* est jalonné de sources souvent utilisées pour l'AEP des villages (illustration 23). Cette ressource en eau est reconnue très vulnérable, notamment du fait des activités agricoles provoquant une contamination significative des eaux par les nitrates.

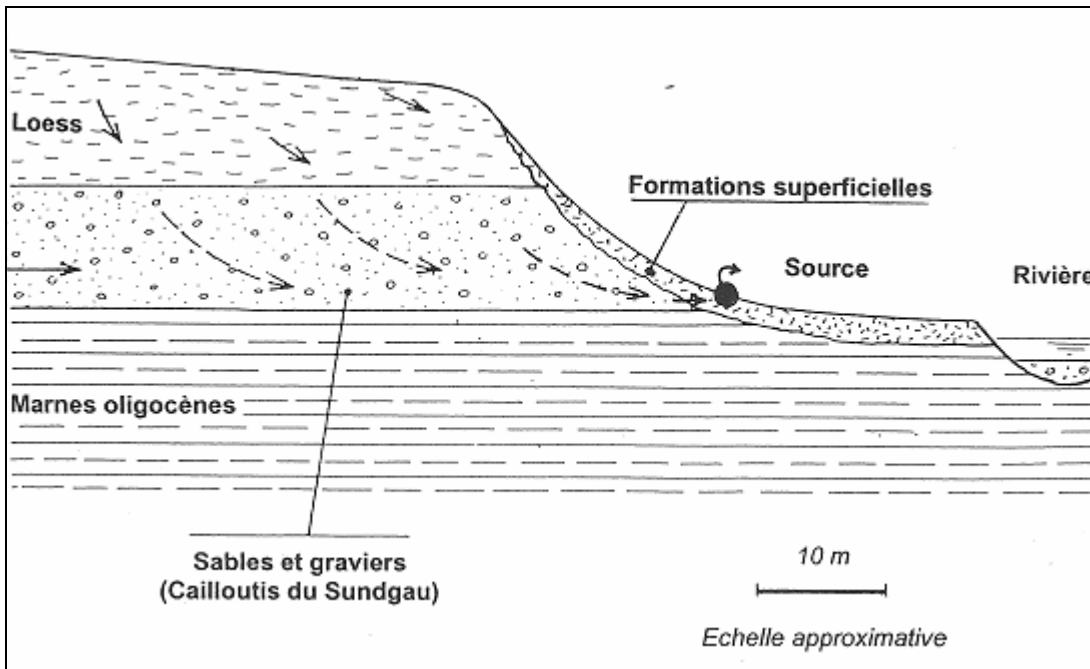


Illustration 23 – Circulations d'eau dans les Cailloutis du Sundgau
(Rapport BRGM 40722)

3.3.4.2 La Molasse alsacienne

La *Molasse alsacienne* (Oligocène) comprend une puissante série de marnes, sables et calcaires déposées dans le Fossé Rhénan juste après son effondrement. L'appellation de "*Molasse alsacienne*" se réfère aux molasse alpines, séries de roches détritiques fines déposées après le soulèvement des Alpes. Les marnes qui sont les roches les plus représentées, constituent des terrains peu perméables, mais elles peuvent être intercalées de niveaux sableux peuvent s'intercaler qui sont, eux, aquifères. Une entité de Molasse alsacienne aquifère couvrant deux zones distinctes a été délimitée au niveau 3.

3.3.4.3 Les terrasses anciennes du Rhin

Le long de la bordure orientale du Sundgau, surplombant l'étroite vallée du Rhin entre Bâle et Mulhouse, les alluvions du Pléistocène, ancien et moyen, sont étagées en terrasses. Les parties subhorizontales et mal drainées de ces terrasses donnent des zones de sources, généralement sans débit importants. Elles sont localement captées par forages.

3.3.4.4 Le Sundgau Pré-Tertiaire

Sous la *Molasse alsacienne* se succèdent, comme pour la Plaine d'Alsace, toute la série des formations pré-Tertiaires déjà identifiées jusqu'au socle, à savoir :

- les calcaires du Malm (Séquanien) ;
- les formations allant du Rauracien au Bathonien ;
- la Grande Oolithe bajocienne ;
- les formations allant de l'Aalénien au Keuper ;
- les formations aquifères du Lettenkohle et du Muschelkalk ;
- les formations imperméables du Muschelkalk inférieur ;
- la série des grès du Trias inférieur et du Permien.

Ces formations ont été fusionnées avec leur équivalent du Fossé rhénan pré-Tertiaire (attribution du même code).

3.3.4.5 Le Horst de Mulhouse

Les dislocations post-Oligocène ont entraîné la surrection de formations plus anciennes dans le Sundgau. C'est le Horst de Mulhouse, formé d'une série de blocs monoclinaux.

Une première série de formations affleurantes de l'Oligocène ont été regroupées pour former une entité imperméable appelée "**Formations supérieures de l'Oligocène du Horst de Mulhouse**".

Sous-jacente, mais également affleurante par endroit, la série condensée de l'Eocène supérieur – Oligocène inférieur comprend deux formations perméables : le *Calcaire à Mélanies* (épaisseur 100 m), de nature karstique, et le *Haustein*, gréseux et calcaire dans sa partie inférieure (épaisseur 50 m), de porosité matricielle. La dynamique des écoulements est complexe en raison de la présence d'un réseau de failles mal connu. Ces 2 formations ont été regroupées en une entité aquifère de niveau 3 appelée "**Calcaire à Mélanies**".

Sous ces formations se succèdent comme pour la Plaine d'Alsace, les formations pré-tertiaires regroupées dans les entités de niveau 3 suivantes :

- **formations de l'Eocène inférieur et formations du Rauracien au Bathonien ;**
- **grande Oolithe bajocienne ;**
- **formations marneuses du Bajocien inférieur et de l'Aalénien au Keuper**
- **Dolomie et Argiles de la Lettenkohle ;**
- **Calcaires du Muschelkalk ;**
- **Marnes du Muschelkalk inférieur ;**
- **Grès du Trias inférieur et du Permien.**

3.3.4.6 Le Jura alsacien

Le Jura alsacien, constitué d'une série plissée de calcaires et de marnes d'âge Jurassique, représente, du point de vue structural, le front de plissements alpins du Jura.

En continuité avec le découpage déjà effectué en Franche – Comté et en s'appuyant sur la description des logs validés profonds, les entités suivantes ont été identifiées :

- formations superficielles du Cénozoïque (Pléistocène à Eocène) ;
- formations aquifères du Séquanien et formations marno-calcaires du Kimmérigien aux calcaires et oolithes du Rauracien ;
- argiles bleues de l'Oxfordien-Argovien ;
- Grande Oolithe du Bajocien et Marnes et Calcaires roux sableux à Rhynchonelles du Bathonien supérieur au Callovien supérieur ;
- formations du Lias indifférencié à l'Aalénien ;
- formation du Lias inférieur reposant sur les Marnes du Keuper ;
- Marnes du Keuper niveau imperméable.

Le tableau multi-échelle est le suivant (illustration24) :

Code	Entité de niveau 2	Code	Entité de niveau 3
210A	Terrasses Anciennes du Rhin	210A01	Terrasses Anciennes du Rhin
210B	Cailloutis du Pliocène du Sundgau	210B01	Cailloutis du Pliocène de la Largue
		210B03	Cailloutis du Pliocène du Thalbach
		210B05	Cailloutis du Pliocène du secteur de Nord Montreux
		210B07	Cailloutis du Pliocène Ouest Largue
		210B09	Cailloutis du Pliocène de la Largue et de la Doller
210C	Molasse alsacienne de l'Oligocène	210C01	Molasse alsacienne aquifère du Sundgau
		210C03	Molasse alsacienne imperméable du Sundgau
210E	Horst de Mulhouse	210E01	Formations supérieures de l'Oligocène du Horst de Mulhouse
		210E03	Calcaires à Mélanie (Priabonien) du Horst de Mulhouse
		210E05	Formations de l'Eocène inférieur et formations du Rauracien au Bathonien du Horst de Mulhouse
		210E07	Grande Oolithe du Bajocien du Horst de Mulhouse
		210E09	Formations marneuses du Bajocien inférieur et Formations de l'Aalénien au Keuper du Horst de Mulhouse
		210E11	Dolomie et argiles de la Lettenkohle du Horst de Mulhouse
		210E13	Calcaire du Muschelkalk du Horst de Mulhouse
		210E15	Marnes du Muschelkalk inférieur du Horst de Mulhouse
		210E17	Grès du Trias inférieur et formations gréseuses du Permien supérieur (Thuringien) du Horst de Mulhouse
210G	Multicouche du Jura alsacien	210G01	Formations superficielles du Cénozoïque (Pléistocène à Eocène)
		210G03	Formations aquifères calcaires (Séquanien), marnos-calcaires (Kimméridgien), Calcaires et Oolithiques (Rauracien)
		210G05	Argiles bleues de l'Oxfordien-Argovien
		210G07	Grande Oolithe du Bajocien et Marnes et Calcaires roux sableux à Rhynchonelles du Bathonien supérieur au Callovien supérieur
		210G09	Formations du Lias supérieur
		210G11	Formation du Lias inférieur
		210G13	Marnes du Keuper niveau imperméable

Illustration 24 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 du Sundgau

3.3.5. Vallée de la Plaine

Une zone située au nord-ouest du Massif cristallin vosgien, ne peut y être rattachée. Comme pour l'Alsace bossue, il s'agit de formations sédimentaires d'âge permien et triasique, reposant sur le socle, qui appartiennent à la structure du Bassin Parisien. Ces formations sédimentaires sont considérées comme des unités perméables par analogie aux autres occurrences situées dans l'Alsace Bossue. La présence de sources au fond de la vallée de la Plaine atteste également de la présence en eaux souterraines dans ces formations.

3.3.6. Les zones de fractures

Entre la Plaine d'Alsace et le Massif vosgien s'intercalent des zones intermédiaires marquées dans le paysage par des collines (collines sous-vosgiennes). Ces zones intermédiaires sont bordées par des failles majeures mais également traversées par des systèmes de failles les découpant en une mosaïque de blocs. La géologie de ces zones est très complexe. D'une manière générale on retrouve, à l'affleurement comme en profondeur, ainsi que l'attestent les logs validés, toutes les formations jurassiques et triasiques déjà rencontrées dans d'autres zones.

Sans pouvoir détailler la mosaïque de blocs, en partie recouverte par des formations superficielles, deux entités globales peuvent être cependant délimitées :

- une entité regroupant les formations des grès triasiques reposant sur le socle. considérée comme aquifère ;
- une entité regroupant tous les autres blocs de la zone de fractures. Bien que cette entité composite recèle des ressources en eau localement ou en profondeur elle est, préliminairement à toute recherche ultérieure, considérée comme imperméable.

Le tableau multi-échelle est le suivant :

Code	Entité de niveau 2	Code	Entité de niveau 3
240A	Champ de Fractures de Saverne	240A01	Formations Complexes et Faillées du Champ de fractures de Saverne
		240A03	Grès du Trias inférieur et Grès du Permien du Champ de fractures de Saverne
240C	Champ de Fractures Sud vosgien	240C01	Formations Complexes et Faillées des Champs de fractures Sud Vosgien
		240C03	Grès du Trias inférieur et Grès du Permien Champ de fractures Sud vosgien

L'illustration 25 ci-après précise le découpage de ces zones de fractures.

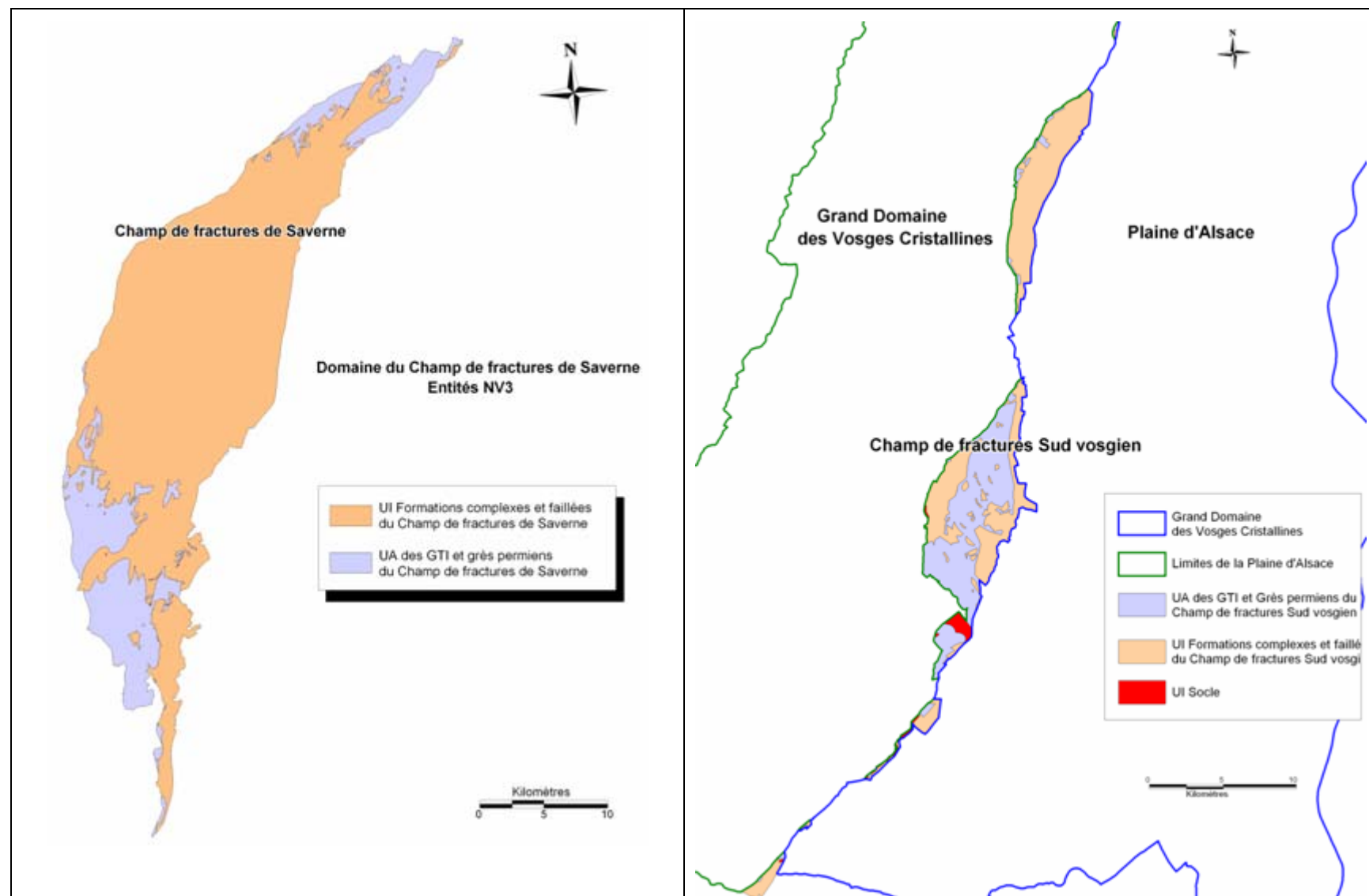


Illustration 25 - Découpage des zones de fractures

3.3.7. Tableau multi-échelles du thème sédimentaire

Le tableau multi-échelles complet des entités du thème sédimentaire est consultable en annexe 1. Au total, pour le thème sédimentaire, ont été identifiés :

- **66 entités (aquifères, semi-perméables et imperméables), du niveau local (NV3)**, dont 9 partagées avec la région Alsace (Alsace bossue) ;
- **23 systèmes ou domaines du niveau régional (NV2)**, dont 4 partagés avec la région Alsace (Alsace bossue) ;
- **7 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1).**

3.4. ENTITÉS DU SOCLE

La méthodologie générale (Rapport BRGM RP 52261- 2003), n'est pas applicable à toutes les régions : peu de données, en particulier données issues des forages, morcellement des formations, cartes non harmonisées ou manquantes (cas du Limousin et de l'Auvergne).

Pour pallier ces difficultés, une autre démarche a été utilisée, applicable à tous les domaines de socle du territoire, et qui permet aussi de préserver le travail qui a été effectué suivant la méthodologie générale.

Cette démarche (décrite en annexe 3) consiste à subdiviser les "bassins versants-entités" de niveau 2 en sous bassins (sous-secteurs BD-Carthage) et à les caractériser en fonction des données disponibles (lithologie, hydrogéologie).

3.4.1. Le socle vosgien

Sous cette dénomination est désignée la partie centrale et méridionale des Vosges présentant essentiellement des roches cristallines: plutoniques, volcaniques anciennes et métamorphiques.

Pour caractériser hydrogéologiquement les bassins versants, les résultats d'une étude réalisée par le CEGUM ont été mis à profit. Cette étude fournit **pour chaque portion de cours d'eau** les valeurs de débit mensuel minimal de chaque année civile (QMNA) de fréquence de retour 2 ans, 5 ans et 10 ans (illustration 26). La méthode de calcul utilisée par le CEGUM, nommée "DECLIC" (*Détermination des Ecoulements Caractéristiques sur le Linéaire des Cours d'eau*) utilise les données issues de la banque HYDRO (données des stations de mesures hydrologiques de bassin) et celles de la BD-Carthage.

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

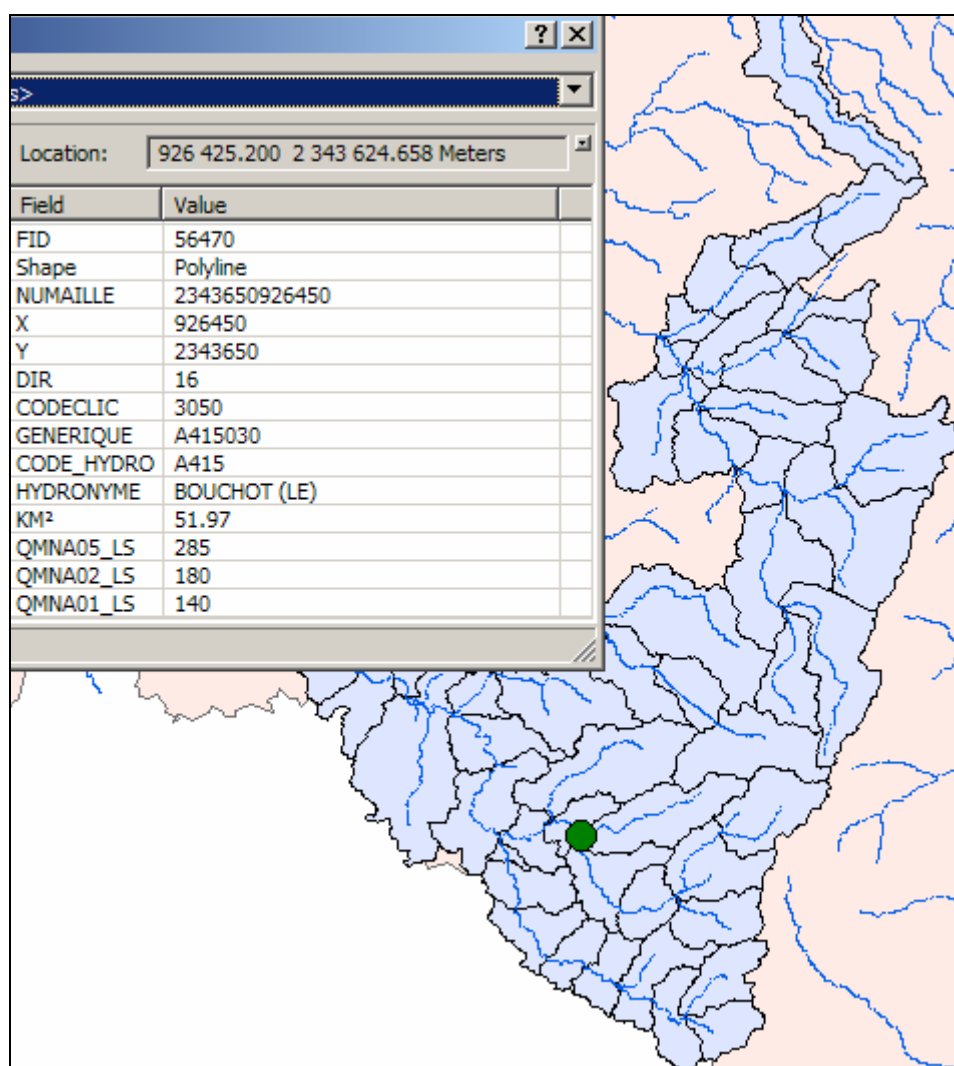


Illustration 26 –Exemple d' information fournie par la méthode "Déclic"

D'une manière pragmatique, un classement relatif des grands bassins vosgiens a été réalisé à partir de la moyenne générale des débits spécifiques (3 l/s/km^2)

L'illustration 27 détaille la cartographie de ces bassins versants.

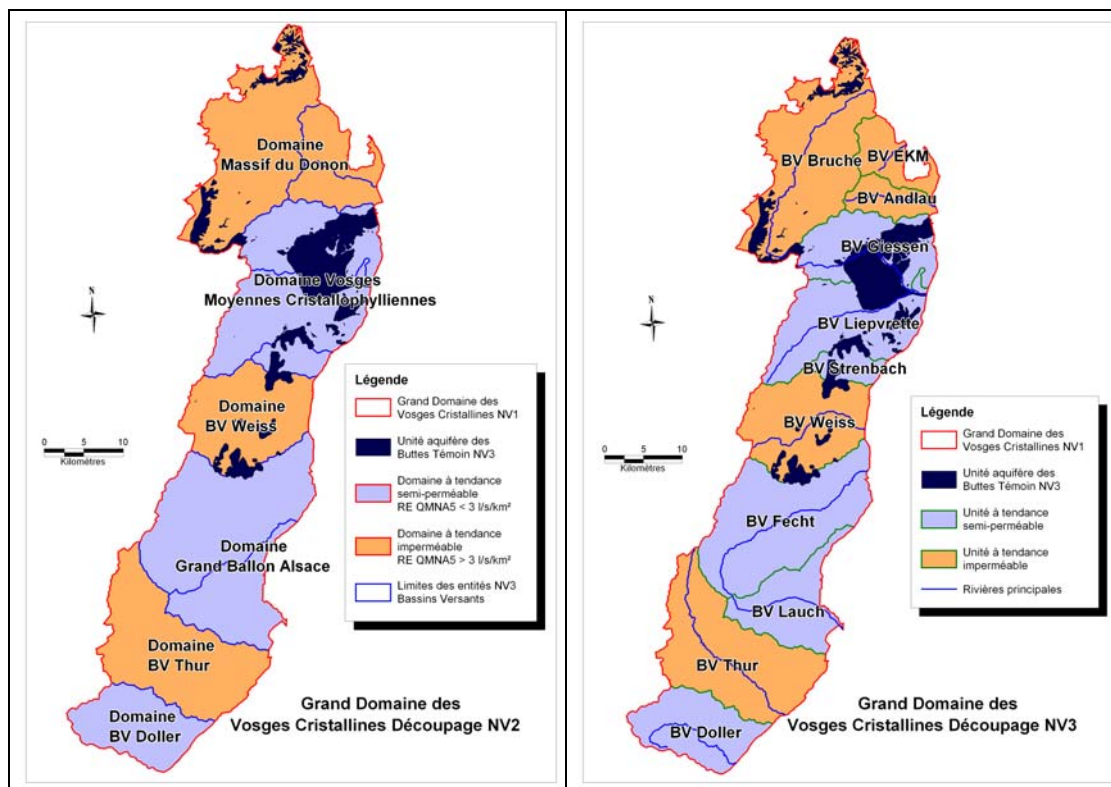


Illustration 27 – Découpage des Vosges Cristallines

Les buttes témoins de grès triasiques et permien signalées sur les cartes sont des entités classées en surcouche.

En l'absence d'informations suffisantes sur les ressources en eau souterraine des formations cristallines du Massif vosgien, aucune classification absolue (unité imperméable, semi-perméable ou imperméable) n'a été attribuée à ces entités.

Les valeurs des débits d'étiage spécifiques des bassins versant de la Doller ou de la Thur sont sans doute influencées par les soutiens de barrages qu'ils reçoivent en cas d'étiage marqué. Seule une étude plus détaillée permettra de classer plus sûrement les caractéristiques hydrogéologiques des formations de ces bassins, notamment pour la Thur.

3.4.2. Caractérisation des entités du socle vosgien

3.4.2.1. Entités de niveau 3

- Utilisation des données du CEGUM (DECLIC) qui fournissent, par tronçon de cours d'eau, la valeur du débit mensuel minimum de période de retour 5 ans QMNA5². Pour cela est pris en compte, pour chaque entité de niveau 3 précédemment définie, le tronçon le plus en aval de la zone du bassin versant sur socle, qui fournit cette valeur (en l/s) et la superficie du bassin versant concerné.
- Calcul du débit spécifique (QMNA5 / Surface de bassin versant) en l/s/km². Est ainsi obtenue une valeur de débit spécifique par bassin versant qui est un ordre de grandeur. En effet cette valeur n'est pas strictement représentative des formations de socle sur tous les bassins versants identifiés : d'une part, elle caractérise la surface totale des bassins (de la source au point aval) et, d'autre part, la surface de bassin versant considéré ne tient pas compte de la nature de la formation géologique présente (la surface sur socle peut ne représenter qu'une partie de ce bassin).
- Calcul de la moyenne des valeurs de débit spécifique obtenues pour tous les bassins versants et comparaison par bassin versant de sa valeur de débit spécifique avec la valeur moyenne. Ceci permet d'établir deux classes d'entités (celles pour lesquelles le débit spécifique est inférieur à la moyenne (classe 1) et celles pour lesquelles il est supérieur à la moyenne (classe 2)).
- Selon leur appartenance à la classe 1 ou à la classe 2, les unités sont caractérisées comme ayant tendance à être "infiltrantes", donc à tendance semi-perméables ou au contraire ayant tendance à favoriser le ruissellement, donc à tendance imperméable.

3.4.2.2. Caractérisation des entités de niveau 2

- Regroupement des entités de niveau 3 en entités de niveau 2 selon leur appartenance à l'une des deux classes et à un même grand bassin versant.
- Ainsi les entités appartenant à la classe 1 sont identifiées comme des domaines ayant tendance à conserver l'eau, donc à tendance semi-perméable, et celles appartenant à la classe 2 sont identifiées comme des domaines ayant tendance à moins conserver l'eau, donc à tendance imperméable.
- Une caractérisation lithologique succincte (présence de roches plutoniques et/ou volcaniques et/ou métamorphiques) complète les attributs de ces entités de niveau 2.

² QMNA 5 ans : c'est le débit de référence défini au titre 2 de la nomenclature figurant dans les décrets n° 93742 et 93743 du 29 mars 1993, pris en application de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. C'est le débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A) (débit minimal de chaque année civile de fréquence de retour 5 ans). Il se calcule, par définition, à partir d'un mois calendaire à la différence de VCN30 (débit minimale sur 30 jours consécutifs) qui peut être à cheval sur 2 mois. C'est le débit mensuel minimal ayant la probabilité 1/5 de ne pas être dépassé une année donnée.

3.4.3. Tableau multi-échelle du thème socle

Au total, pour le domaine de socle, ont été identifiés :

- **11 unités de niveau local (NV3) ;**
- **6 domaines de niveau régional (NV2) ;**
- **1 grand domaine de socle de niveau national en Lorraine (NV1).**

230A	Socle du bassin versant de la Doller	230A01	Bassin versant de la Doller
230C	Socle du bassin versant de la Thur	230C01	Bassin versant de la Thur
230E	Socle du Grand Ballon Vosgien	230E01	Bassin versant de la Lauch
		230E03	Bassin versant de la Fecht
230G	Socle du Bassin versant de la Weiss	230G01	Bassin versant de la Weiss
230I	Socle cristallophyllien des Vosges moyennes	230I01	Bassin versant de la Giessen
		230I03	Bassin versant de la Liepvrette
		230I05	Bassin versant de l'Andlau
230K	Socle du Massif du Donon	230K01	Bassin versant de la Bruche
		230K03	Bassins versants de la Ehn, Kirneck et Magel
		230K05	Bassin versant du Strenbach

Illustration 28 – Entités de niveau 2 et de niveau 3 du Massif vosgien cristallin

3.5. ENTITES COMPLEMENTAIRES

Deux formations géologiques significatives, mais qui surmontent différentes formations ou entités ont été rangées dans le groupe des entités complémentaires (constituant la "surcouche" du référentiel). Il s'agit :

- des formations lœssiques ;
- des buttes témoins de grès triasiques et permians.

Formations d'origine éolienne, meuble et de granulométrie fine, les formations lœssiques couvrent environ le tiers de la surface de la plaine rhénane. Dans les collines situées à l'Ouest de Strasbourg et au Nord de la Bruche, le lœss atteint l'altitude de 210 mètres, c'est-à-dire qu'il s'élève à environ 70 mètres au dessus du niveau du Rhin. L'épaisseur de lœss atteint par endroits près de 50 mètres. A ce titre la couche lœssique constitue une couverture imperméable atténuant la vulnérabilité des aquifères sous-jacents (alluvions vosgiennes ou rhénanes).

Le découpage des Vosges cristallines par des limites de bassins versants amène à considérer les formations de grès et arkoses triasiques et permians réparties en entités géographiquement discontinues comme des buttes témoins surmontant le socle. Leur extension varie de l'ordre du km² à 100 km² (butte témoin dans le bassin versant de la rivière Giessen). Ces buttes témoins peuvent contenir des aquifères qui contribuent au soutien hydraulique des bassins versants à l'intérieur desquels ils se situent.

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 5. Elle contient la table des polygones représentant les "**Entités principales**" et la table des polygones représentant les limites des entités d'ordre 1.

Ces 2 tables ("**RHF_Polygones relatifs**" et "**RHF_Limites**") sont rangées dans un "*Jeu de classes d'entités*" (dans le langage ArcGis) appelé "**GEOMETRIE**" (illustration 29).

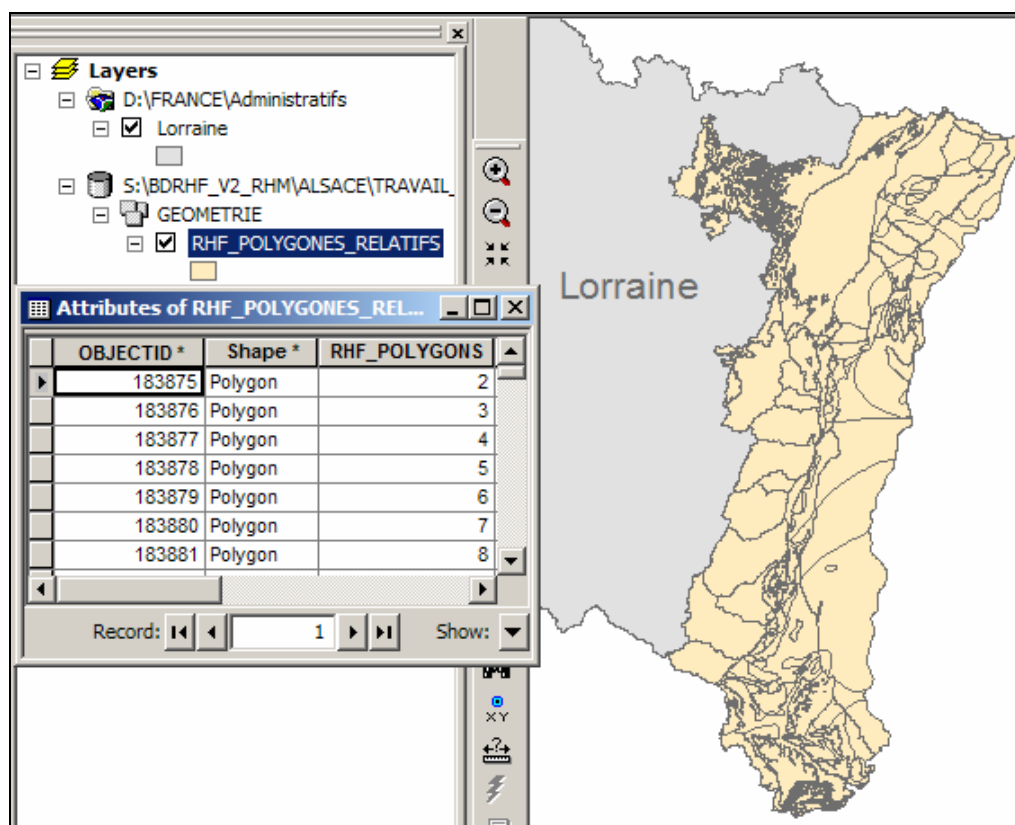
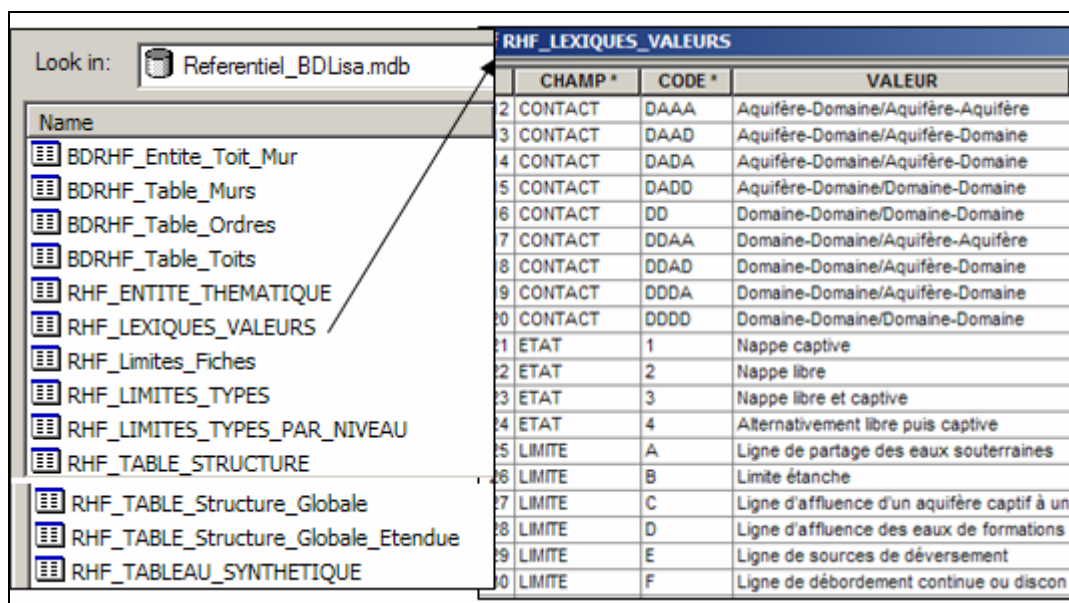


Illustration 29 : Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap.

Outre les Entités principales", la géodatabase comprend :

- les "**Entités complémentaires**" (partie inférieure de l'illustration 29) scindées en 2 classes, pour séparer les systèmes alluvionnaires des autres "entités complémentaires" (disjointes, morcelées et/ou locales) ;
- la caractérisation lithologique des entités du socle des Ardennes.

Elle contient aussi d'autres tables, sans géométrie associée (BDRHF_Table_Murs, BDRHF_Table_Toits, BDRHF_Table_Ordres,...illustration 30). Ces tables sont décrites en annexe 5.



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

Illustration 30 : 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 31). Pour accéder au menu, il faut appeler le "projet" ArcGis de nom "**BDLISA_931.mxd**".

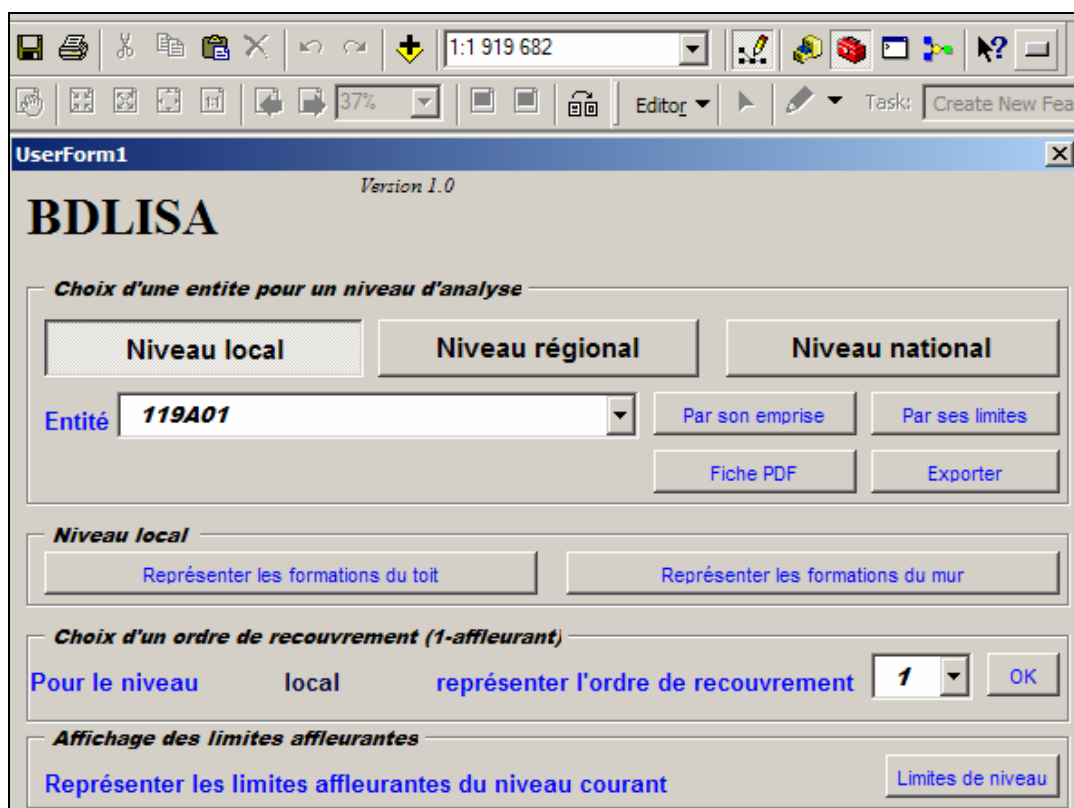


Illustration 31 : Interface utilisateur de la géodatabase.

L'icône grise dans la barre de menu, à droite (rectangle grisé, provisoire) permet d'appeler l'interface utilisateur.

L'illustration 32 présente un exemple de sélection d'entités (215P01, *Sables verts de l'Albien* et 210E11) effectuée à partir du menu ci-dessus (illustration 31, "Représenter l'entité par son emprise").

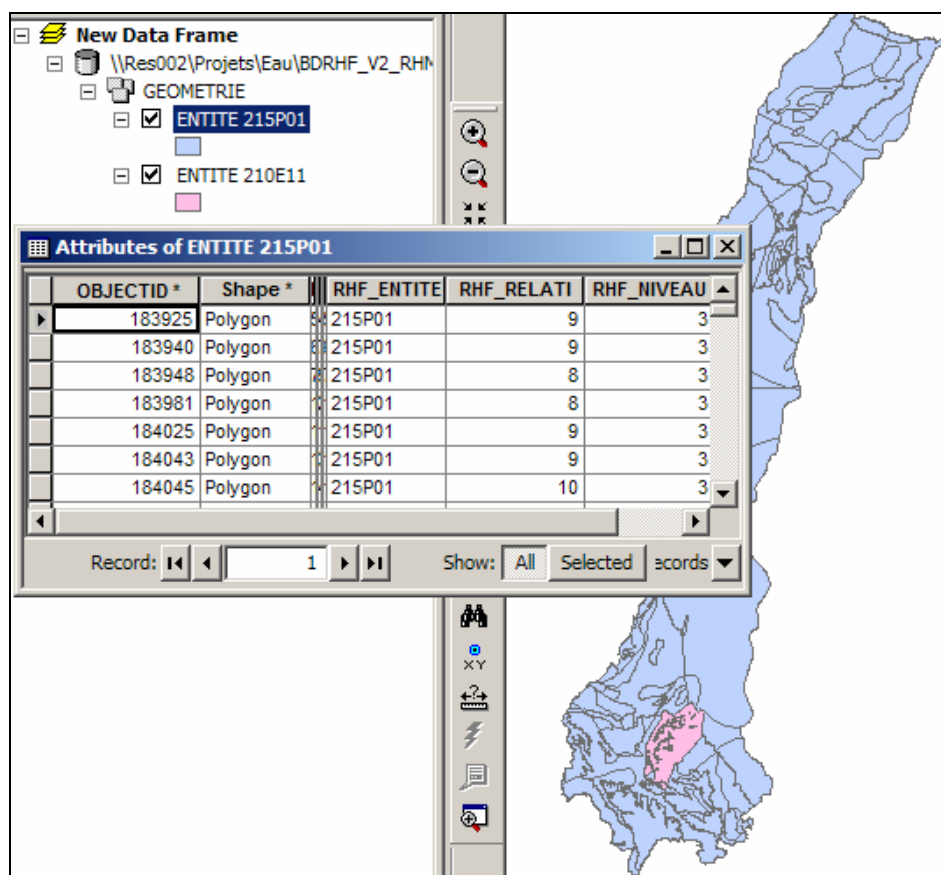
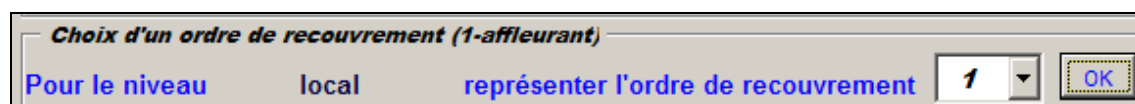


Illustration 32 : Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général.

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 33).

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



L'illustration 34 présente une vue des entités de niveau 3 et d'ordre 1 (une couleur a est affectée à chaque entité).

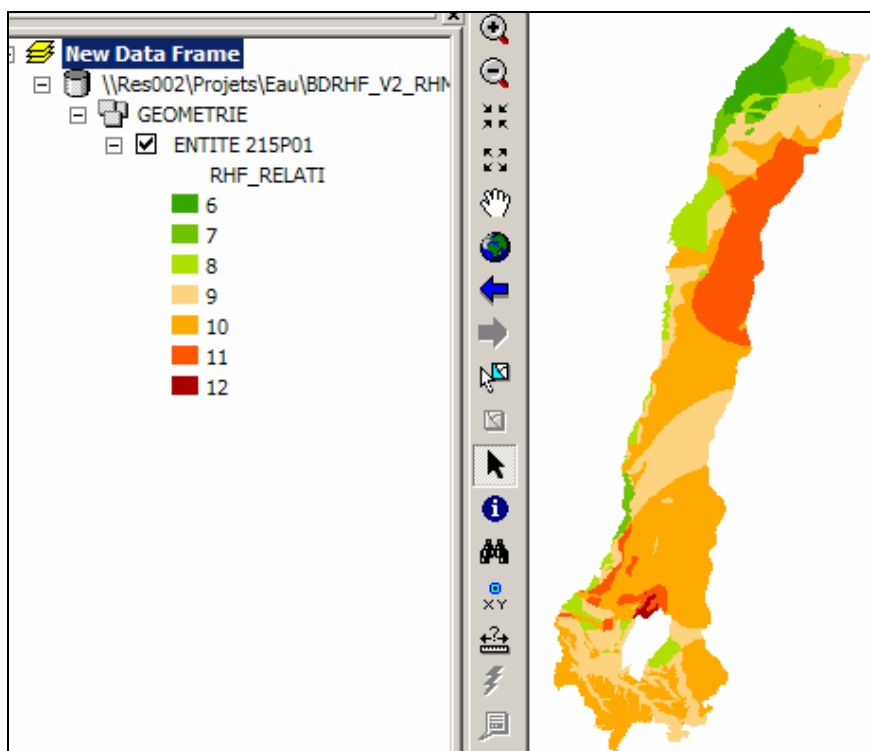


Illustration 33 : Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs).

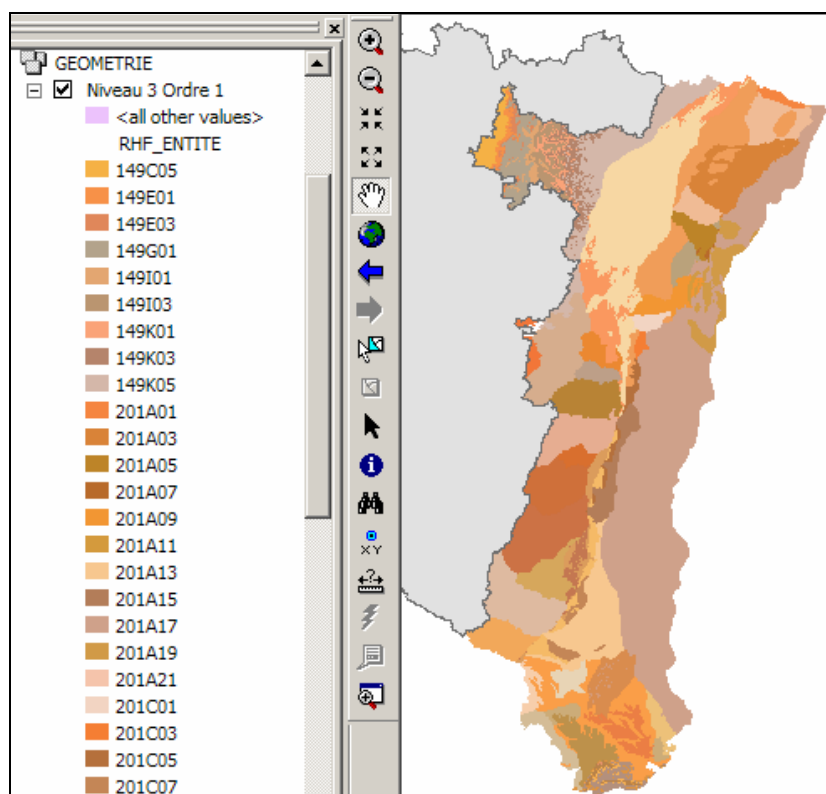
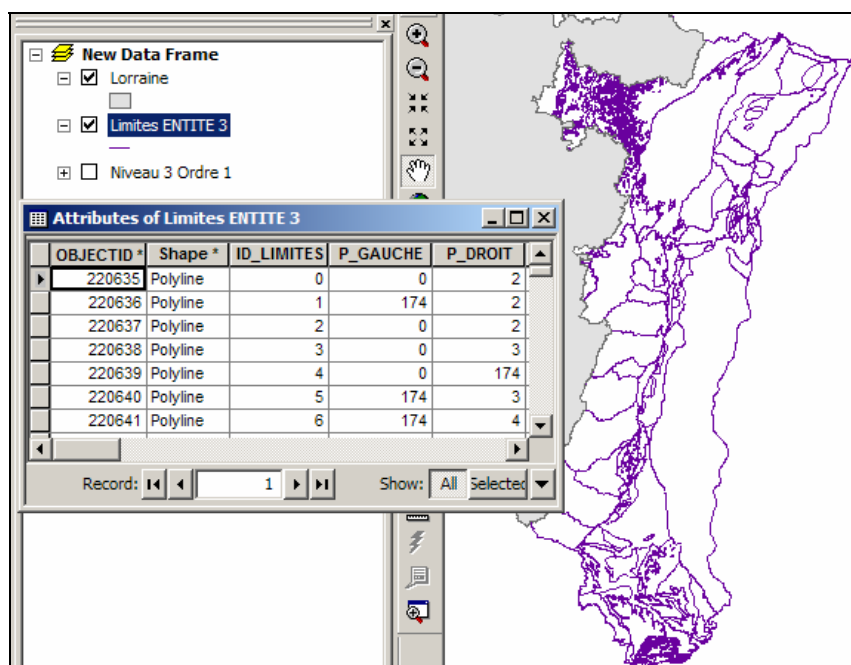


Illustration 34 : Exemple de sélection : entités de niveau 3 et d'ordre 1.

Limites et table des limites

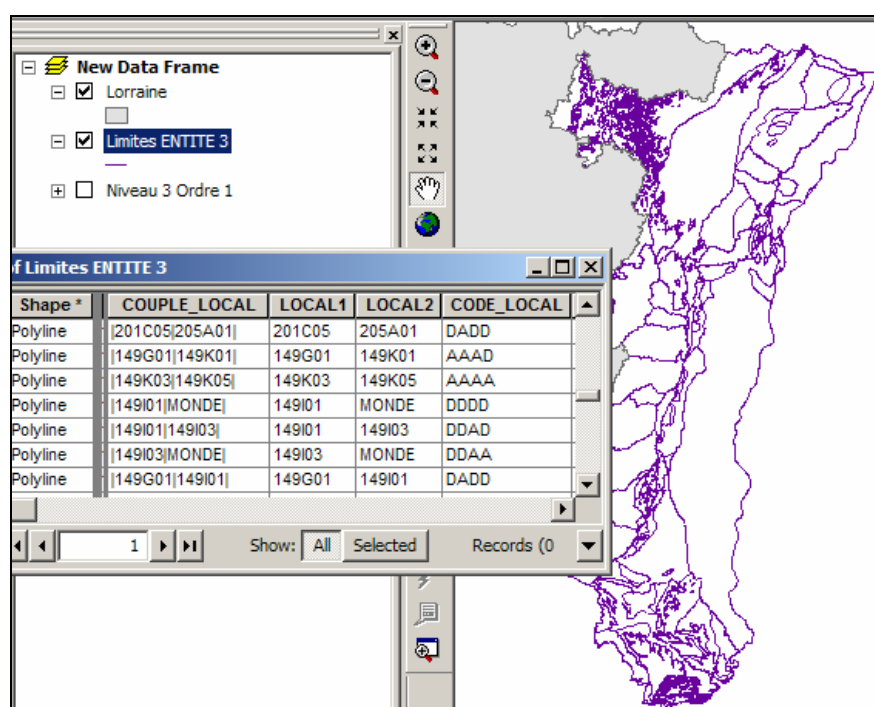
Elles sont aussi accessibles par le menu général. La table des limites contient l'identifiant des limites (champ ID_LIMITES) et l'identification des polygones situés de part et d'autre d'une limite (champs P_GAUCHE et P_DROIT).



OBJECTID *	Shape *	ID_LIMITES	P_GAUCHE	P_DROIT
220635	Polyline	0	0	2
220636	Polyline	1	174	2
220637	Polyline	2	0	2
220638	Polyline	3	0	3
220639	Polyline	4	0	174
220640	Polyline	5	174	3
220641	Polyline	6	174	4

Illustration 35 : Table des limites.

Cette table contient aussi la nature des contacts entre entités (illustration 36).



Shape *	COUPLE_LOCAL	LOCAL1	LOCAL2	CODE_LOCAL
Polyline	[201C05 205A01]	201C05	205A01	DADD
Polyline	[149G01 149K01]	149G01	149K01	AAAD
Polyline	[149K03 149K05]	149K03	149K05	AAAA
Polyline	[149I01 MONDE]	149I01	MONDE	DDDD
Polyline	[149I01 149I03]	149I01	149I03	DDAD
Polyline	[149I03 MONDE]	149I03	MONDE	DDAA
Polyline	[149G01 149I01]	149G01	149I01	DADD

Illustration 36 : Table des natures de contacts entre entités.

4.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS

Le modèle de gestion permet d'éditer automatiquement (illustration 37) pour chaque entité une fiche au format pdf permettant d'analyser les "relations" de l'entité avec ses voisines et de vérifier la cohérence de l'assemblage 3D effectué par le modèle de gestion.

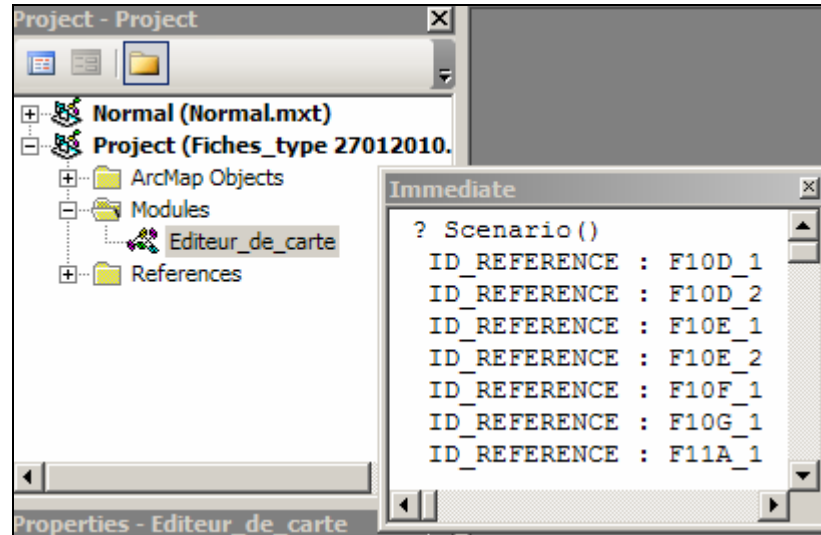


Illustration 37 : Editeur de cartes du modèle de gestion du référentiel.

Une fiche d'analyse est constituée de plusieurs blocs d'informations. Les illustrations 24 et 25 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 38), 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 39) 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 5) et la longueur (en km) de chaque tronçon de limite partagée.

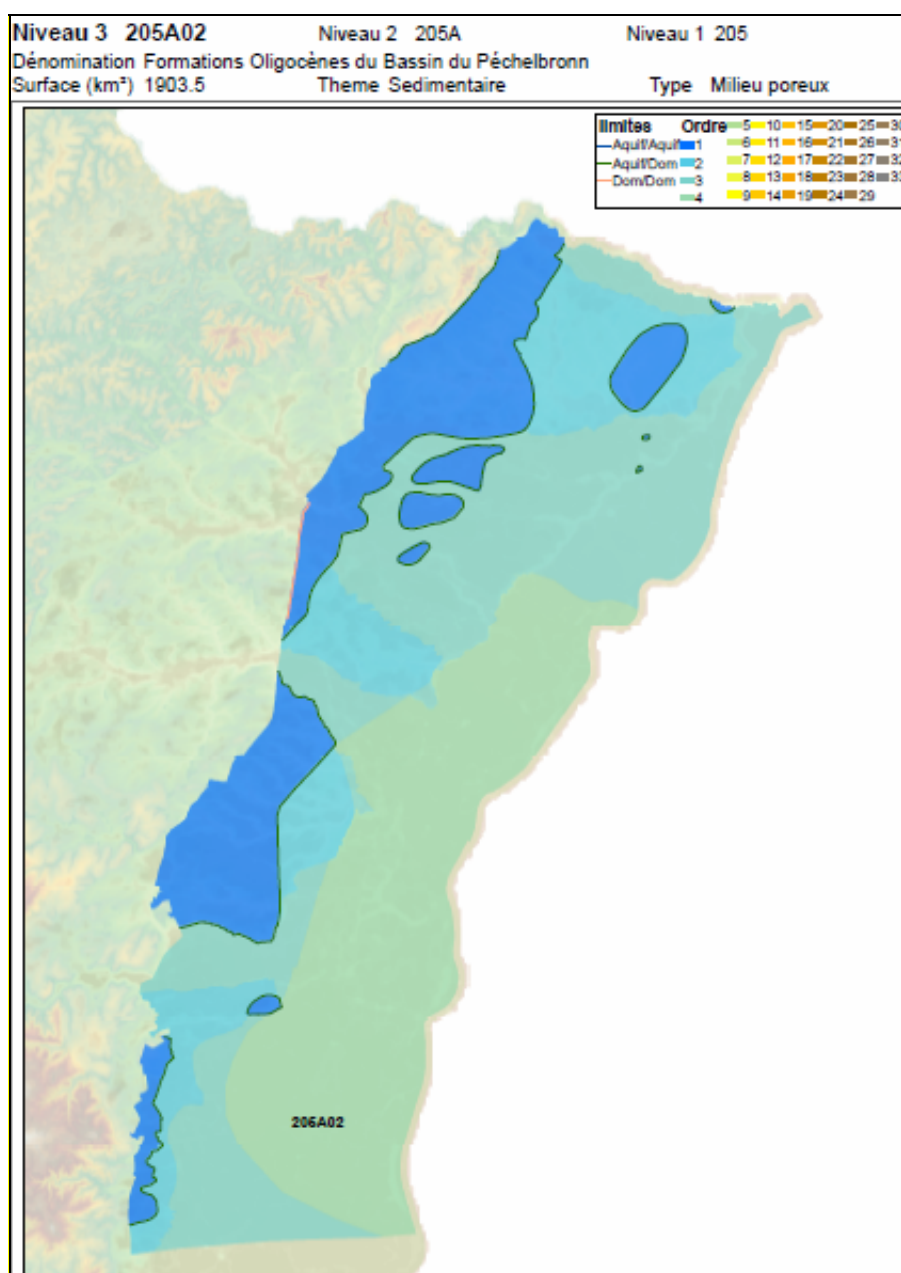


Illustration 38 : Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche).

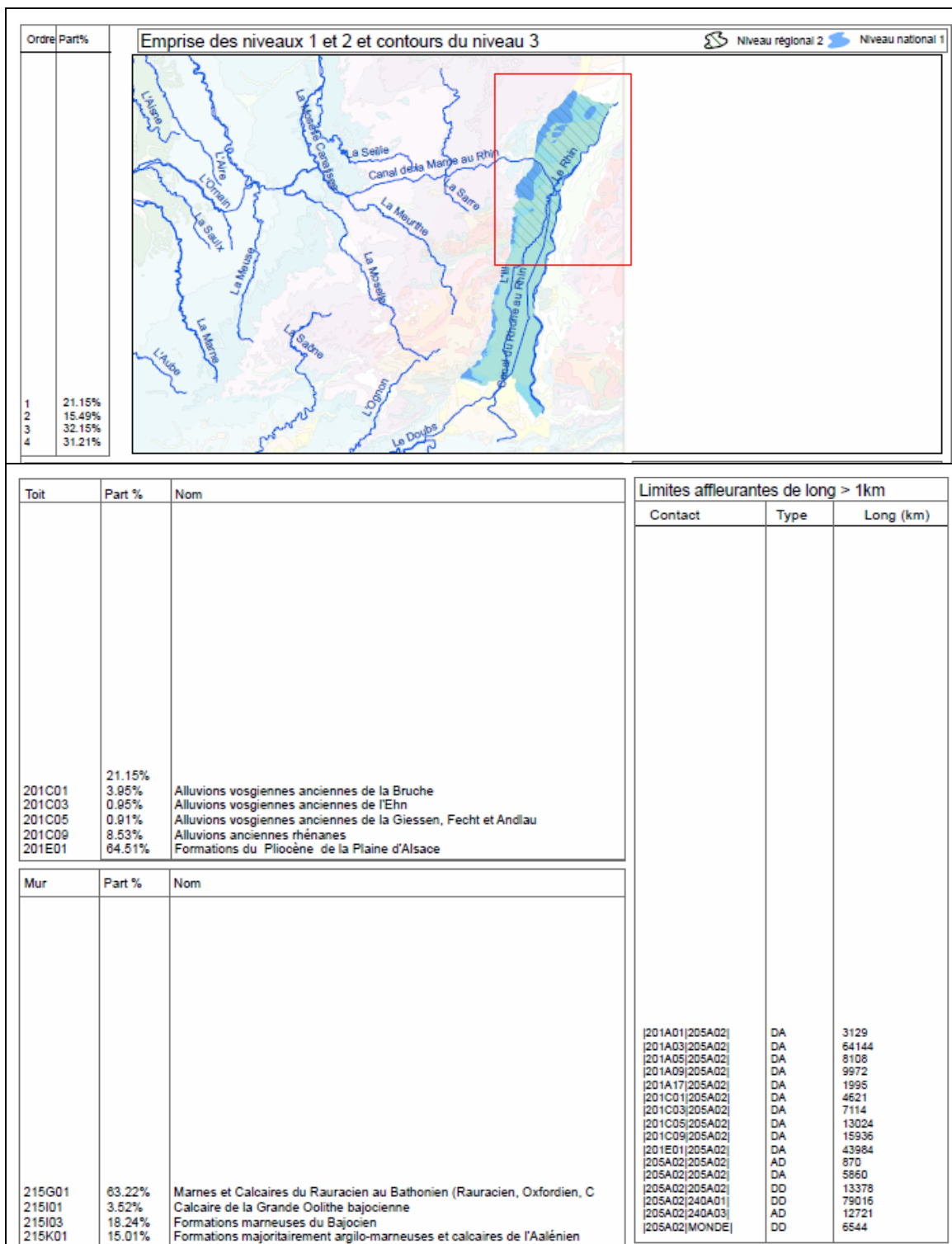


Illustration 39 : Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie droite)

5. Conclusion

La construction du référentiel hydrogéologique en Alsace (bassin Rhin-Meuse) a permis d'identifier et de délimiter :

- **77 entités hydrogéologiques au niveau local (NV3) dont 11 en domaine de socle ;**
- **29 systèmes aquifères ou domaines hydrogéologiques du niveau régional (NV2) dont 6 en domaine de socle,**
- **8 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1) dont 1 grand domaine de socle,**

Ces entités, ont été intégrées dans une "géodatabase" ArcGis (version 9.31) à laquelle est associé 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.

Ce modèle de gestion du Référentiel offre une nouvelle approche numérique de l'hydrogéologie du territoire grâce à la notion d'ordre de superposition et aux possibilités de visualisation des toits et des murs de chacune des entités hydrogéologiques délimitées.

A ce "rapport régional" succèdera un note de synthèse présentant l'ensemble du référentiel dans le bassin Rhin-Meuse (Alsace et Lorraine et une partie de la Champagne ?).

Toutes les entités seront intégrées dans une géodatabase propre au bassin Rhin-Meuse.

...

6. Bibliographie

Documents généraux sur le référentiel :

PETIT V., HANOT F., POINTET T. (2003) - Référentiel hydrogéologique BD RHF. Guide Méthodologique de découpage des entités. Rapport BRGM RP-52261-FR.

SANDRE (2002) - Description des données sur le Référentiel Hydrogéologique Français Version 2.

Autres documents :

BLANC – VALLERON M. – M. (1991) – Les formations paléogènes évaporitiques du bassin potassique de Mulhouse et des bassins plus septentrionaux d'Alsace. Editions du BRGM.

CRUZ – MERMY D. (2008) – La géologie d'Alsace ; synthèse pour le projet GEOCUBE. Notice BRGM ALSNT08N10.

EDEL J-B., LUTZ H., ELSASS P. (2002) - Socle varisque et tectoniques rhénanes dans le Fossé rhénan supérieur méridional : traitement et interprétation de la carte gravimétrique du fossé à partir du levé haute densité des MDP.

ELSASS P., MENILLET F. (1999) – Inventaire 1998 de la qualité des eaux des aquifères du Sundgau. Notice Hydrogéologique BRGM R 40722.

ELSASS P., BIRTLE C. (2006) – Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan ; Programme 2003 – 2006. Rapport BRGM RP-54876-FR.

Laboratoire de Géographie Physique / CEGUM / UFR Sciences Humaines et Arts Université de Metz (2003) - Application de la Méthode DECLIC aux cours d'eau du Bassin Rhin-Meuse. Rapport pour l'Agence de l'Eau Rhin – Meuse.

Laboratoire de Géographie Physique / CEGUM / UFR Sciences Humaines et Arts Université de Metz - Réalisation d'un programme de calcul automatique des débits d'étiage et des modules.

SITTLE C. (1965) – Le Paléogène des fossés rhénan et rhodanien ; Etudes sédimentologiques et paléoclimatiques. Mémoire du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine.

STOBER I. (1996) – Geohydraulik und hydrochemie der Thermalquellen von Bad Wildbad, Bad Liebenzell, Baden – Baden und Bad Säckingen. Sonderdruck aus Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen.

TALBOT A, BABOT Y (2002) – Atlas hydrogéologique du bassin Rhin-Meuse. Rapport pour l'Agence de Bassin Rhin – Meuse.

Cartes géologiques et notices :

SARREGUEMINES (0166N), BITCHE – WALSCHBRONN (0167N), LEMBACH (0168N), SARRE – UNION (0196N), BOUXWILLER (0197N), HAGUENAU (0198N), SELTZ – WISSEMBOURG (0199N), SAVERNE (0233N), BRUMATH – DRUSENHEIM (0234N), CIREY SUR VEZOUZE (0270N), MOLSHEIM (0271N), STRASBOURG (0271N), SAINT DIE (0306N), SELESTAT (0307N), BENFELD (0308N), GERARDMER (0341N), COLMAR ARTOLSHEIM (0342N), MUNSTER (0377N), NEUF-BRISACH OBERSAASHEIM (0378N), THANN (0412N), MULHOUSE – MULLHEIM (0413N), BELFORT (0444N), ALTKIRCH (0445N), DELLE (0475N), FERRETTE (0476N).

Annexe 1 - Tableau multi-échelles des entités du thème "Sédimentaire"

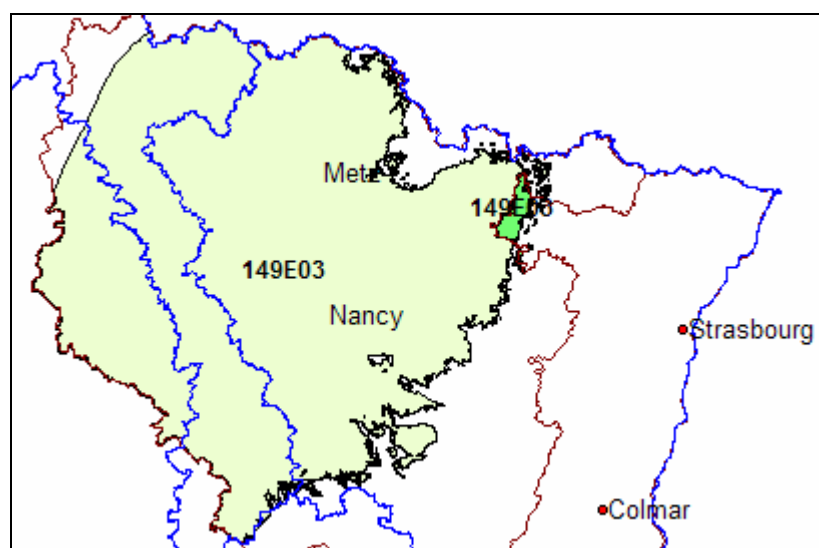
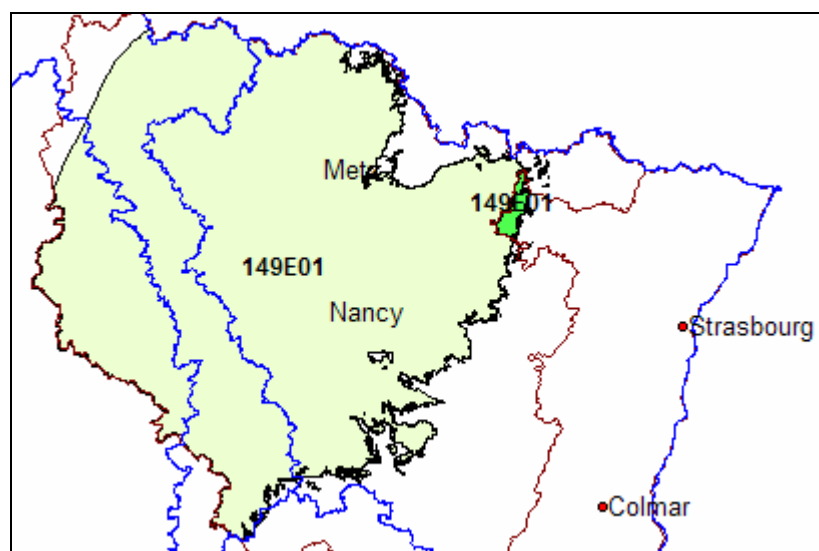
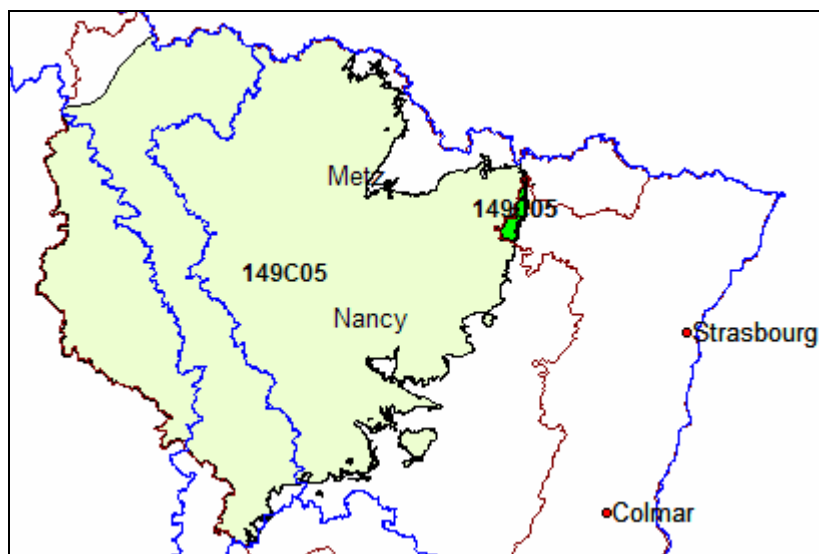
NV1					NV2											
Code	Ordre	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Code	Ordre	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Code	Ordre	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Milieu	Etat
										Entités complémentaires Loess Buttes témoins sur Cailloutis Pliocène du Sundgau Buttes témoins (GTI et grès permien) reposant sur les unités du socle vosgien						
201	120	GSA Plio-Quaternaire de la Plaine d'Alsace	1	1	201A	120	Alluvions récentes de la Plaine d'Alsace	1	3	201A01	120	Alluvions récentes vosgiennes de la Lauter	1	5	1	2
										201A03	120	Alluvions récentes vosgiennes de la Moder et de la Sauer	1	5	1	2
										201A05	120	Alluvions récentes vosgiennes de la Zorn	1	5	1	2
										201A07	120	Alluvions récentes vosgiennes de la Zorn avec intercalaire argileux	1	6	1	2
										201A09	120	Alluvions récentes vosgiennes de la Bruche	1	5	1	2
										201A11	120	Alluvions récentes vosgiennes de la Bruche avec intercalaire argileux	1	6	1	2
										201A13	120	Alluvions récentes vosgiennes de la Doller, Thur et Lauch	1	5	1	2
										201A15	120	Alluvions récentes vosgiennes de la Giessen, Fecht	1	5	1	2
										201A17	120	Alluvions récentes rhénanes	1	5	1	2
										201A19	120	Alluvions récentes rhénanes avec intercalaire argileux	1	6	1	2
										201A21	130	Intercalaires argileux de la Plaine d'Alsace	2	7	1	
										201C01	230	Alluvions vosgiennes anciennes de la Bruche	1	5	1	2
										201C03	230	Alluvions vosgiennes anciennes de l'Ehn	1	5	1	2
										201C05	230	Alluvions vosgiennes anciennes de la Giessen, Fecht et Andlau	1	5	1	2
										201C07	230	Alluvions vosgiennes anciennes de la Doller, Thur et Lauch	1	5	1	2
										201C09	230	Alluvions anciennes rhénanes	1	5	1	2
					201E	310	Formations du Pliocène de la Plaine d'Alsace	2	3	201E01	310	Formations du Pliocène de la Plaine d'Alsace	2	5	1	3
205	1500	GD Oligocène du Fossé Rhénan	2	2	205A	1500	Formations Oligocène du Fossé Rhénan	2	4	205A01	1500	Formations Oligocènes du Bassin Salifère	2	6	1	
										205A02	1500	Formations Oligocènes du Bassin du Pêchebron	2	6	1	

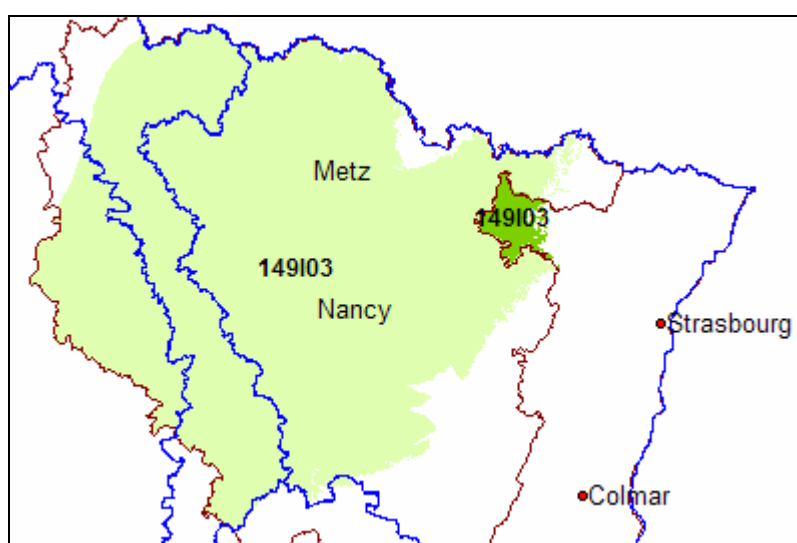
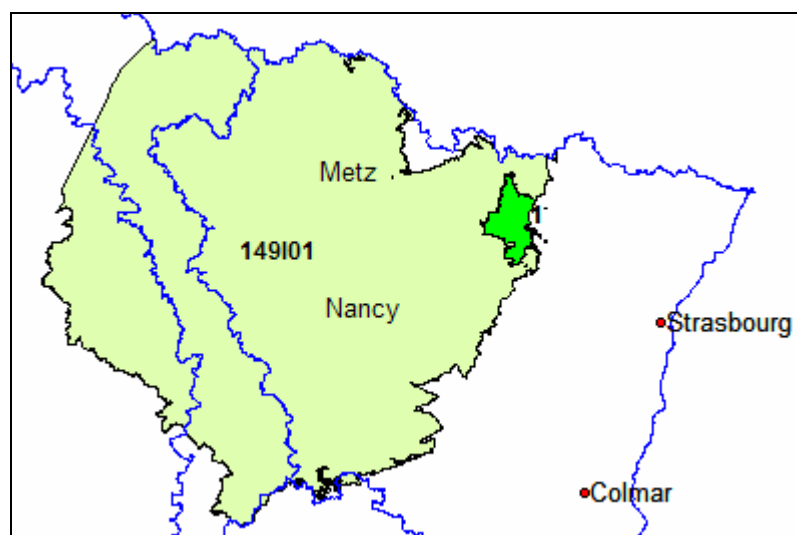
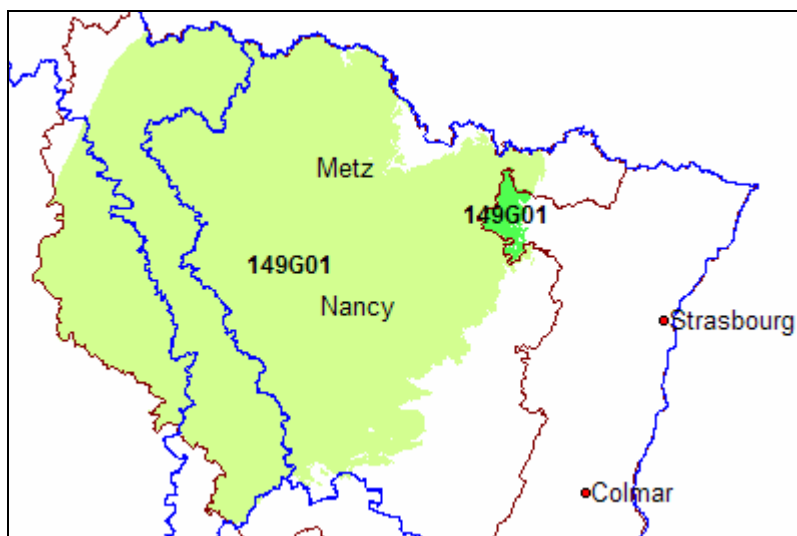
210	310	GSM du Sundgau	2	12	210A	230	Terrasses Anciennes du Rhin	2	3	210A01	230	Terrasses Anciennes du Rhin	2	5	1	2
					210B	310	Cailloutis du Pliocène du Sundgau	2	3	210B01	310	Cailloutis du Pliocène de la Largue	2	5	1	2
										210B03	310	Cailloutis du Pliocène du Thalbach	2	5	1	2
										210B05	310	Cailloutis du Pliocène du secteur de Nord Montreux	2	6	1	2
										210B07	310	Cailloutis du Pliocène Ouest Largue	2	5	1	2
										210B09	310	Cailloutis du Pliocène de la Largue et de la Doller	2	6	1	2
					210C	1500	Molasse alsacienne de l'Oligocène	2	4	210C01	1500	Molasse alsacienne aquifère du Sundgau	2	5	1	2
										210C03	1500	Molasse alsacienne imperméable du Sundgau	2	7	1	
					210E	1500	Horst de Mulhouse	2	4	210E01	1500	Formations supérieures de l'Oligocène du Horst de Mulhouse	2	7	1	
										210E03	2000	Calcaires à Mélanie (Priabonien) du Horst de Mulhouse	2	5	4	3
										210E05	3000	Formations de l'Eocène inférieur et formations du Rauracien au Bathonien du Horst de Mulhouse	2	7		
										210E07	3710	Grande Oolithe du Bajocien du Horst de Mulhouse	2	5	4	1
										210E09	3720	Formations marneuses du Bajocien inférieur et Formations de l'Aalénien au Keuper du Horst de Mulhouse	2	7	1	
										210E11	4200	Dolomie et argiles de la Lettenkohle du Horst de Mulhouse	2	5	2	1
										210E13	4220	Calcaire du Muschelkalk du Horst de Mulhouse	2	5	2	1
										210E15	4250	Marnes du Muschelkalk inférieur du Horst de Mulhouse	2	7	1	
										210E17	4280	Grès du Trias inférieur et formations gréseuses du Permien supérieur (Thuringien) du Horst de Mulhouse	2	5	4	1
					210G	2000	Multicouche du Jura alsacien	2	3	210G01	2000	Formations superficielles du Cénozoïque (Pléistocène à Eocène)	2	7	1	
										210G03	3200	Formations aquifères calcaires (Séquanien), marnos-calcaires (Kimméridgien), Calcaires et Oolithiques (Rauracien)	2	5	4	3
										210G05	3300	Argiles bleues de l'Oxfordien-Argovien	2	7	1	
										210G07	3710	Grande Oolithe du Bajocien et Marnes et Calcaires roux sableux à Rhynchonelles du Bathonien supérieur au Callovien supérieur	2	5	4	3
										210G09	4000	Formations du Lias supérieur	2	7	1	
										210G11	4160	Formation du Lias inférieur	2	5	0	1
										210G13	4190	Marnes du Keuper niveau imperméable	2	7	1	

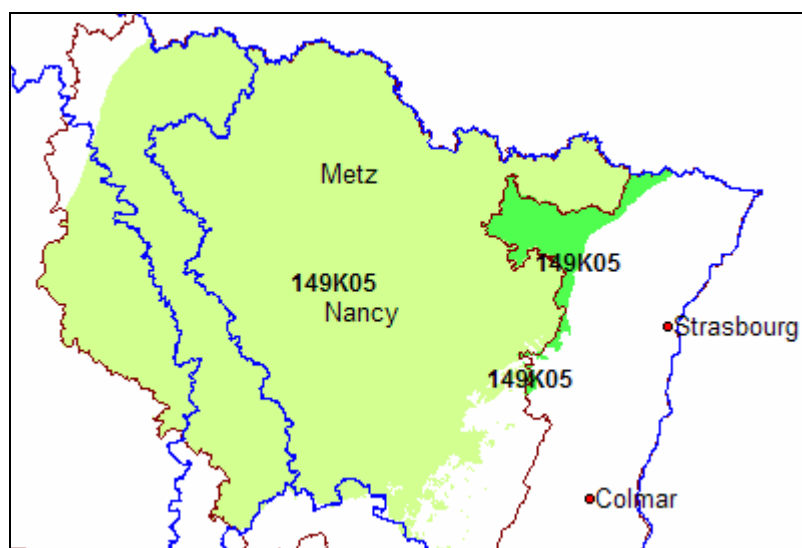
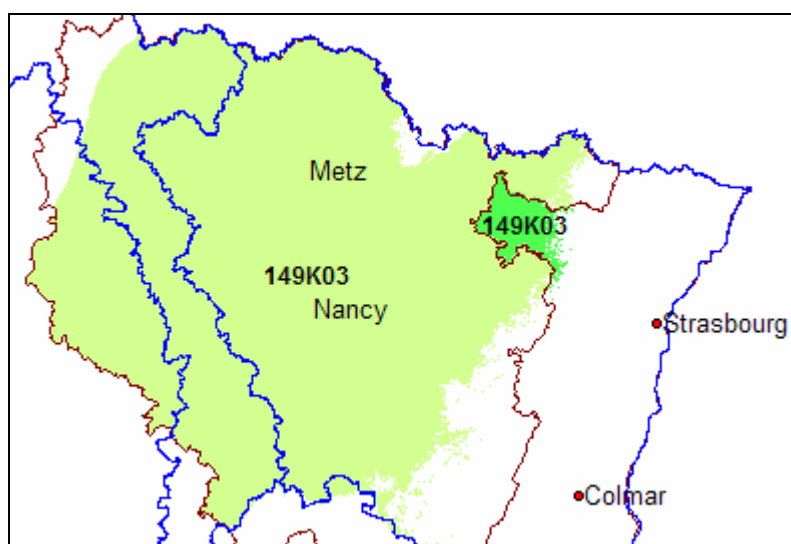
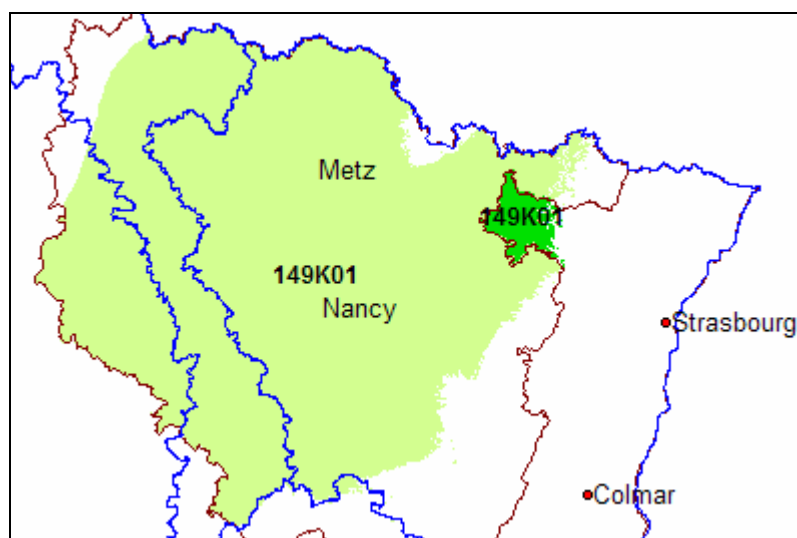
215	3200	GD du Fossé Rhénan pré-tertiaire	2	2	215E	3200	Calcaires du Malm (Séquanien)	2	3	215E01	3200	Calcaires du Malm (Séquanien)	2	5	4	1
					215G	3300	Marnes et Calcaires du Rauracien au Bathonien (Rauracien, Oxfordien, Callovien, Bathonien)	2	4	215G01	3300	Marnes et Calcaires du Rauracien au Bathonien (Rauracien, Oxfordien, Callovien, Bathonien)	2	7	1	
					215I	3700	Calcaires et Marnes du Bajocien	2	3	215I01	3710	Calcaire de la Grande Oolithe bajocienne	2	5	4	1
										215I03	3710	Formations marneuses du Bajocien	2	7	1	
					215K	4190	Formations majoritairement argilo-marneuses et calcaires de l'Aalénien au Keuper (Aalénien, Toarcien, Pliensbachien, Sinémurien, Hettangien, Rhétien, Keuper)	2	4	215K01	4190	Formations majoritairement argilo-marneuses et calcaires de l'Aalénien au Keuper (Aalénien, Toarcien, Pliensbachien, Sinémurien, Hettangien, Rhétien, Keuper)	2	7	1	
					215M	4200	Calcaires et Marnes du Muschelkalk et Lettenkohle	2	3	215M01	4200	Calcaire de la Lettenkohle	2	5	2	1
					215P	4280	Grès du Trias inférieur et Grès du Permien	2	3	215M03	4220	Calcaire du Muschelkalk	2	5	2	1
149	4190	GSM du Trias de Lorraine et d'Alsace	2	12						215M05	4250	Muschelkalk Inférieur / Marnes	2	7	1	
					149C	4190	Marnes du Keuper de Lorraine et d'Alsace	2	3	215P01	4280	Grès du Trias inférieur et Grès du Permien	2	5	4	1
					149E	4200	Dolomies et Marnes de la Lettenkohle de Lorraine et d'Alsace	2	3	149C05	4190	Marnes irisées inférieures du Keuper de Lorraine et d'Alsace	2	7	1	
					149G	4220	Calcaires du Muschelkalk supérieur de Lorraine et d'Alsace	2	3	149E01	4200	Dolomie limite (si différenciée), Dolomie et Marnes bariolées de la Lettenkohle de Lorraine et d'Alsace	2	6	1	4
										149E03	4210	Dolomie inférieure de la Lettenkohle d'Alsace et de Lorraine	2	5	4	4
					149I	4240	Marnes et Argiles du Muschelkalk moyen et inférieur de Lorraine et d'Alsace	2	4	149G01	4220	Calcaires à cératites et Calcaires à entroques du Muschelkalk supérieur de Lorraine et d'Alsace	2	5	4	4
										149I01	4240	Couches blanches, grises et rouges de Lorraine et d'Alsace du Muschelkalk moyen et inf.	2	6	1	
225	4280	GSA des formations de la Vallée de la Plaine	2	1	149K	4260	Grès du Buntsandstein de Lorraine et d'Alsace	2	3	149I03	4250	Dolomie à Myophoria orbicularis, Marnes à Myacites (et Grès coquillier indifférencié) du Muschelkalk inférieur de Lorraine et d'Alsace	2	6	1	
										149K01	4260	Grès coq llier et Grès à Voltzia du Muschelkalk inférieur et du Buntsandstein supérieur de Lorraine et d'Alsace	2	5	4	4
					225A	4280	Formations sédimentaires (Buntsandstein et Permien) de la Vallée de la Plaine	2	3	149K03	4270	Couches intermédiaires et Conglomérat principal du Buntsandstein supérieur de Lorraine et d'Alsace	2	5	4	4
										149K05	4280	Grès vosgien s.s. et Conglomérat inférieur de Lorraine et Grès Vosgiens indifférenciés du Buntsandstein et du Permien d'Alsace	2	5	4	4
										225A01	4280	Formations sédimentaires (Buntsandstein et Permien) de la Vallée de la Plaine	2	5	4	2

230	5000	GD des Vosges cristallines	3	2	230A	5000	Socle du bassin versant de la Doller	3	4	230A01	5000	Bassin versant de la Doller	3	6	2	2
					230C	5000	Socle du bassin versant de la Thur	3	4	230C01	5000	Bassin versant de la Thur	3	7	2	
					230E	5000	Socle du Grand Ballon Vosgien	3	4	230E01	5000	Bassin versant de la Lauch	3	6	2	2
										230E03	5000	Bassin versant de la Fecht	3	6	2	2
					230G	5000	Socle du Bassin versant de la Weiss	3	4	230G01	5000	Bassin versant de la Weiss	3	6	2	2
										230I01	5000	Bassin versant de la Giessen	3	7	2	
					230I	5000	Socle cristallophyllien des Vosges moyennes	3	4	230I03	5000	Bassin versant de la Liepvrette	3	7	2	
240	4280	GD du Champ de Fractures	3	2						230I05	5000	Bassin versant de l'Andlau	3	7	2	
					230K	5000	Socle du Massif du Donon	3	4	230K01	5000	Bassin versant de la Bruche	3	7	2	
										230K03	5000	Bassins versants de la Ehn, Kirneck et Magel	3	7	2	
										230K05	5000	Bassin versant du Strenbach	3	7	2	
					240A	4280	Champ de Fractures de Saverne	2	4	240A01	4280	Formations Complexes et Faillées du Champ de Fractures de Saverne	3	6	2	3
										240A03	4280	Grès du Trias inférieur et Grès du Permien du Champ de Fractures de Saverne	3	5	2	2
					240C	4280	Champ de Fractures Sud vosgien	2	4	240C01	4280	Formations Complexes et Faillées des Champs de Fractures Sud Vosgien	3	6	2	3
										240C03	4280	Grès du Trias inférieur et Grès du Permien Champ de Fractures Sud vosgien	3	5	2	2

Annexe 2 – Entités partagées avec l'Alsace (Alsace "bossue")







Annexe 3 - Note méthodologique sur le découpage 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.

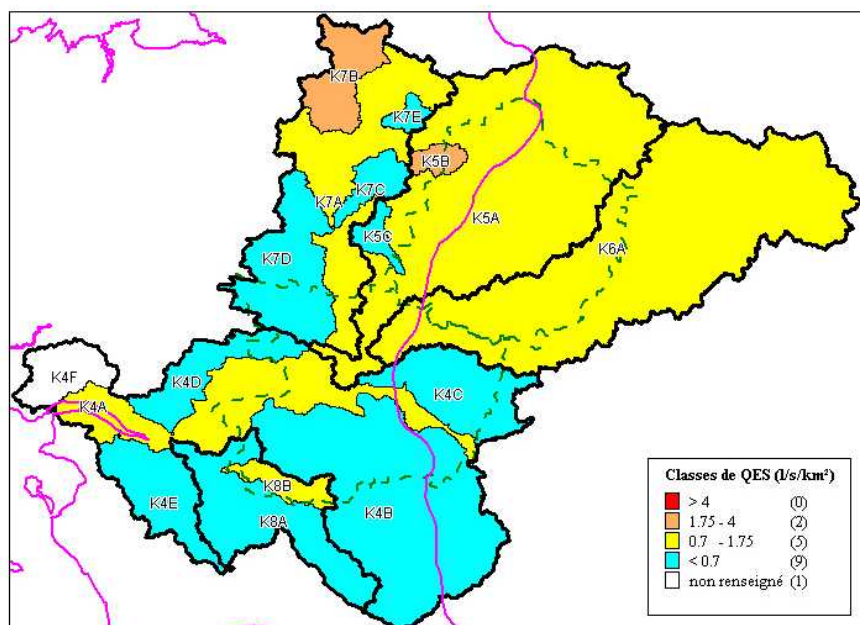


Illustration 1 - Classement des entités selon les valeurs de QES
(17 entités NV2 après assemblage)

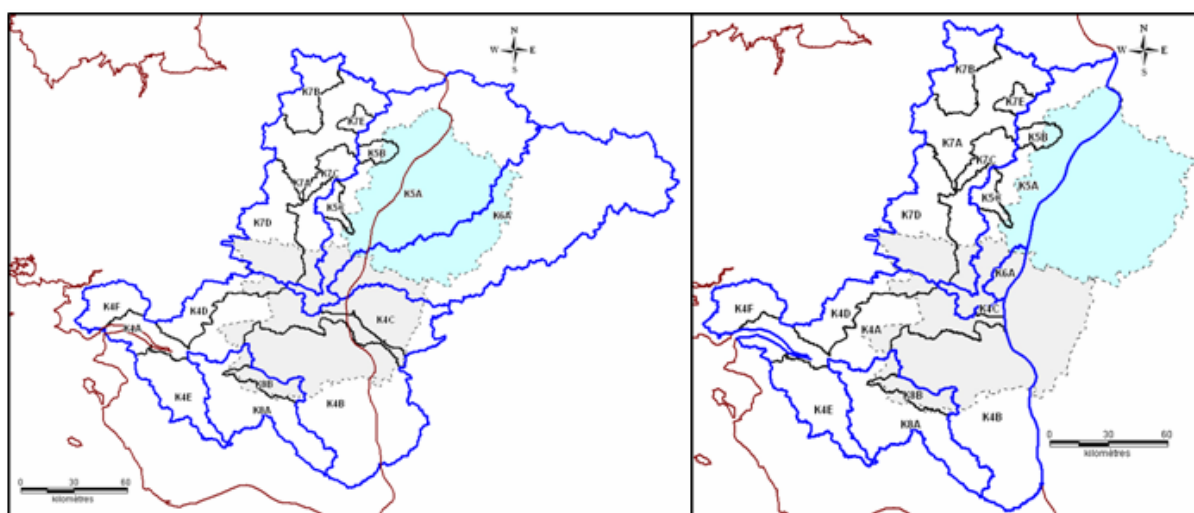


Illustration 2 - Entités de Socle de niveau NV2
(avant et après découpage grossier avec la limite des formations sédimentaires)

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."*

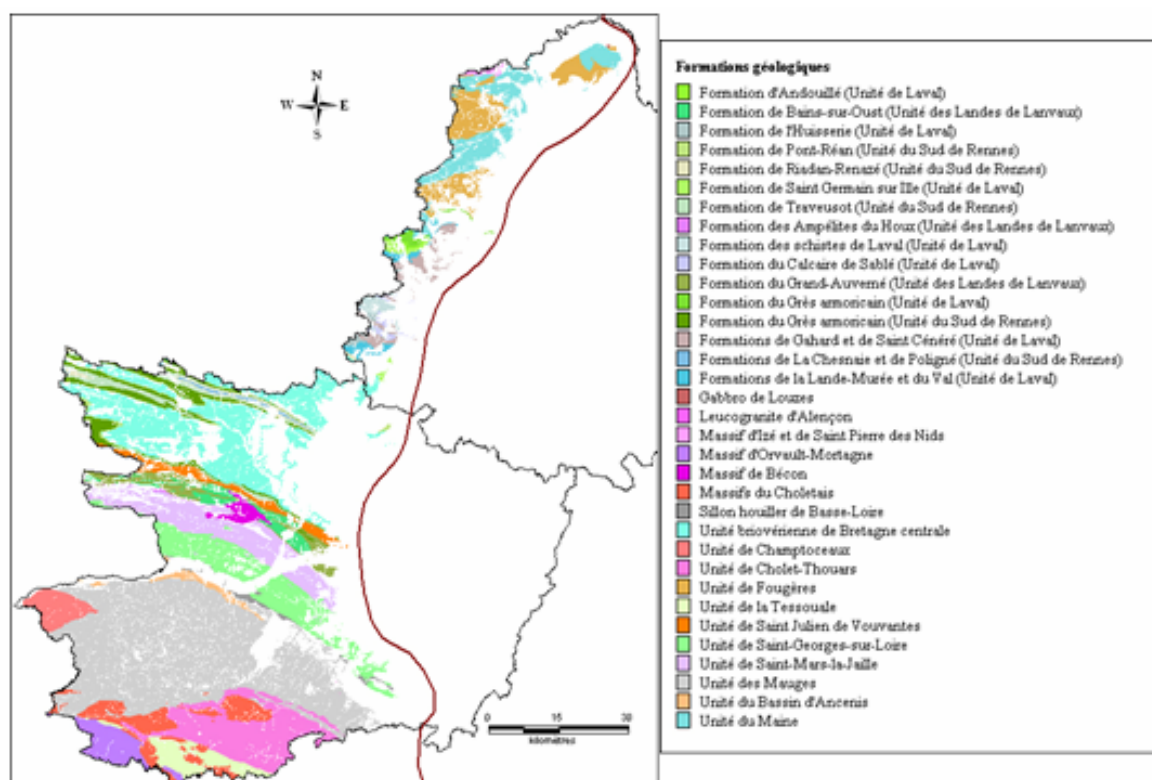


Illustration 3 – 34 entités géologiques au 1/50 000 dans les départements 49 et 72

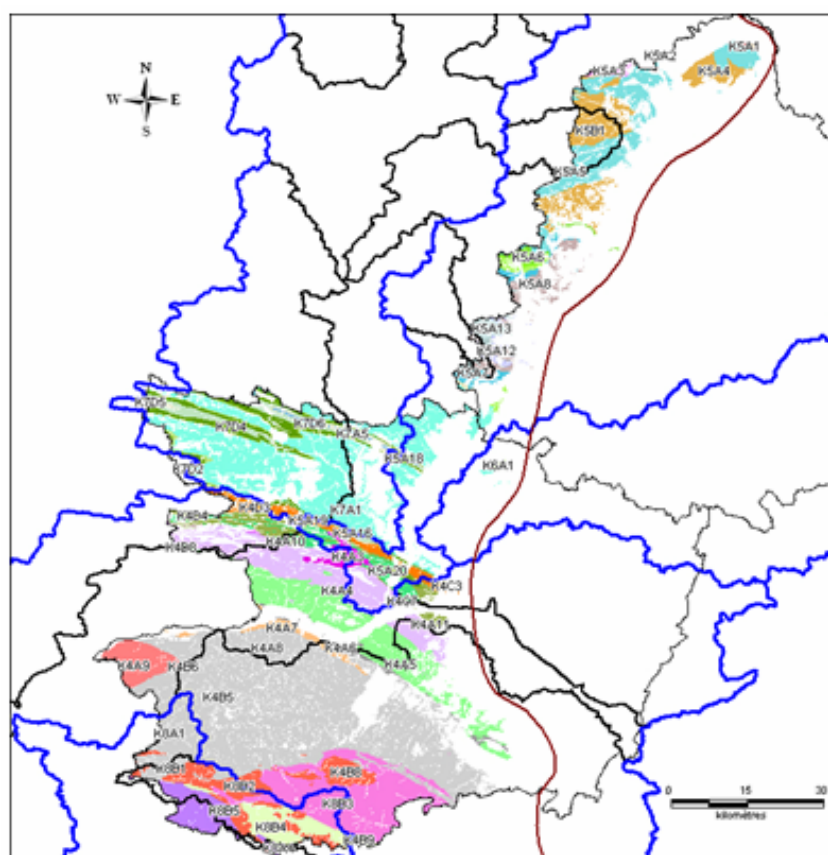


Illustration 4 – 91 entités hydrogéologiques NV3 dans les départements 49 et 72 (intersection entités géologiques ci-dessus) par BV NV2)

"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".

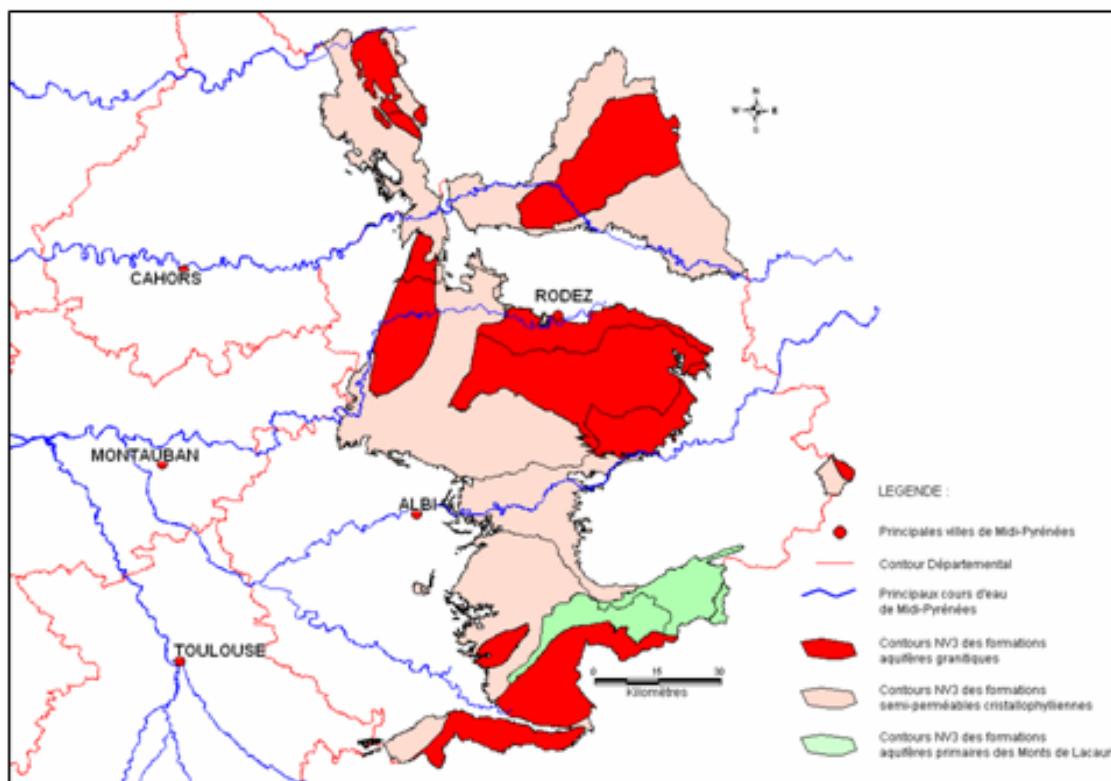


Illustration 5 – Entités NV3 de socle en MPY

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.

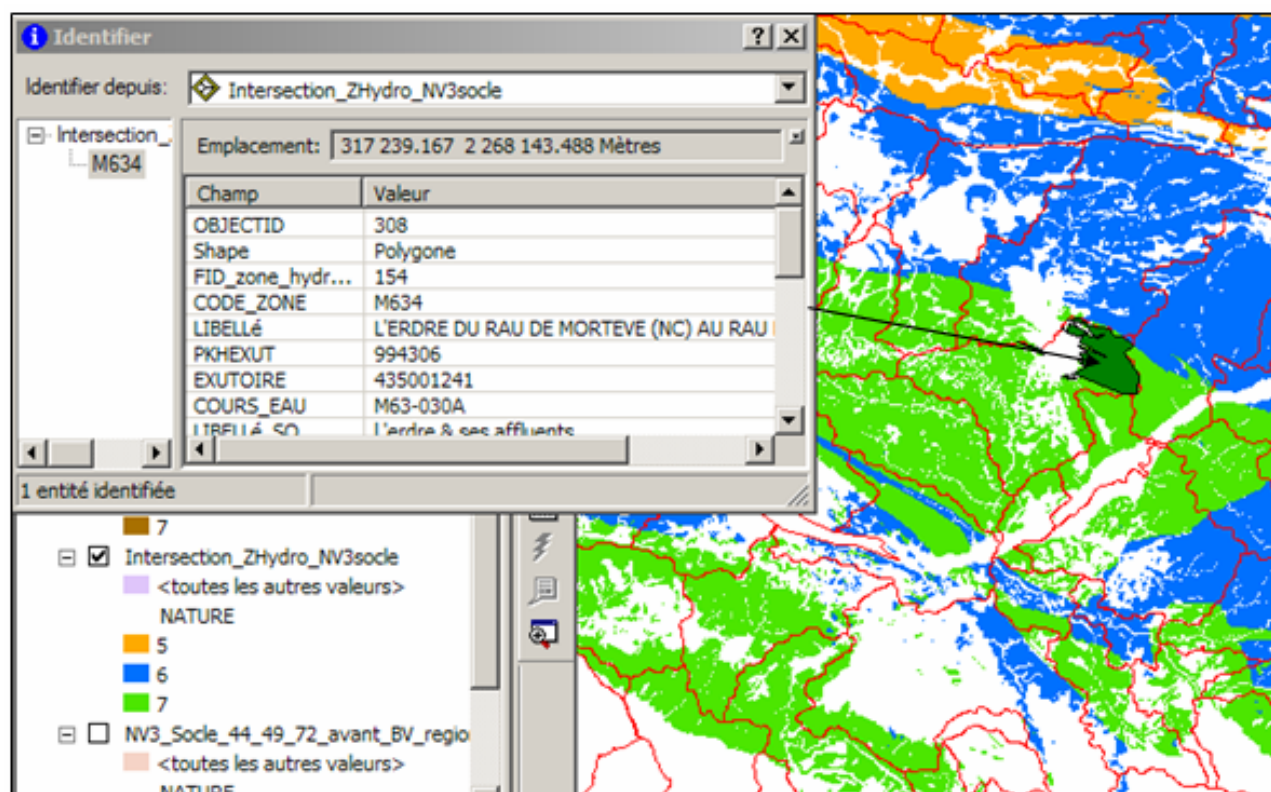


Illustration 6 - Intersection zones hydrographiques BDCarthage avec entités définies suivant méthodologie générale (exemple départements 49 et 72)

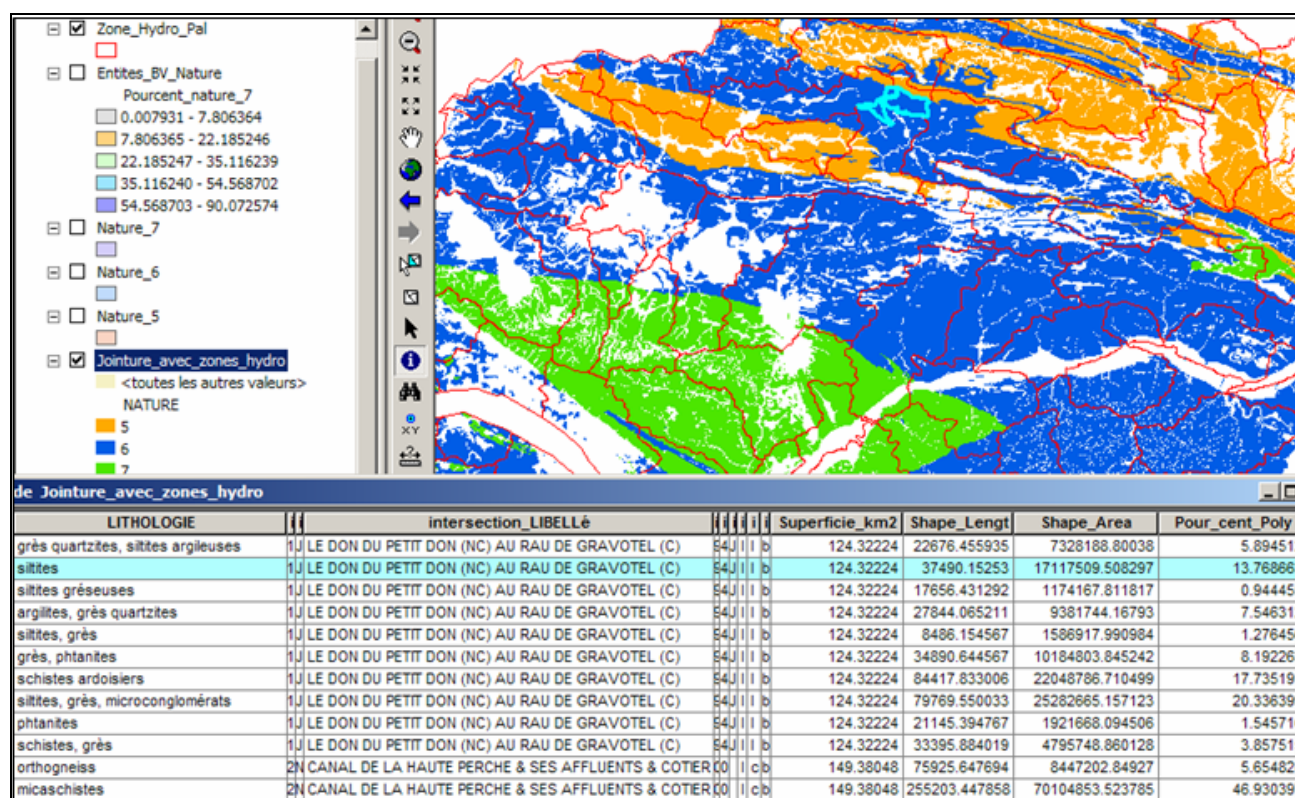


Illustration 7 - Calcul du pourcent d'occupation des types de lithologie dans chaque polygone élémentaire des zones hydrographiques

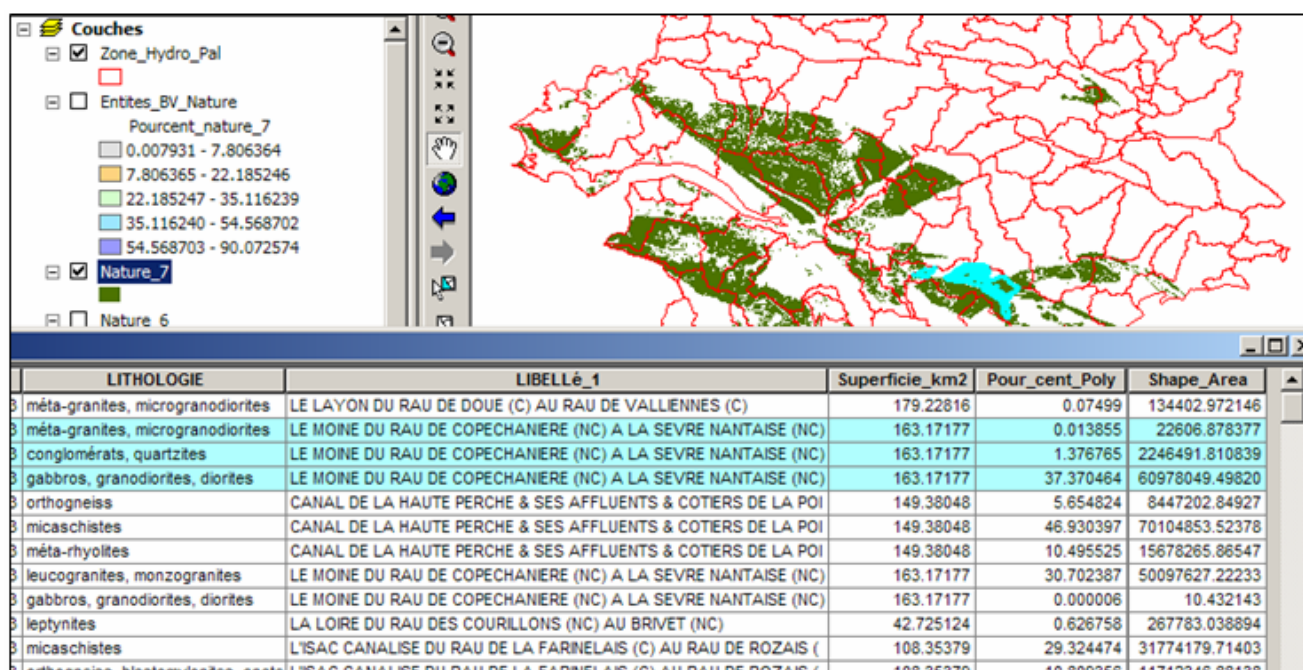


Illustration 8 – Sélection d'une classe de perméabilités

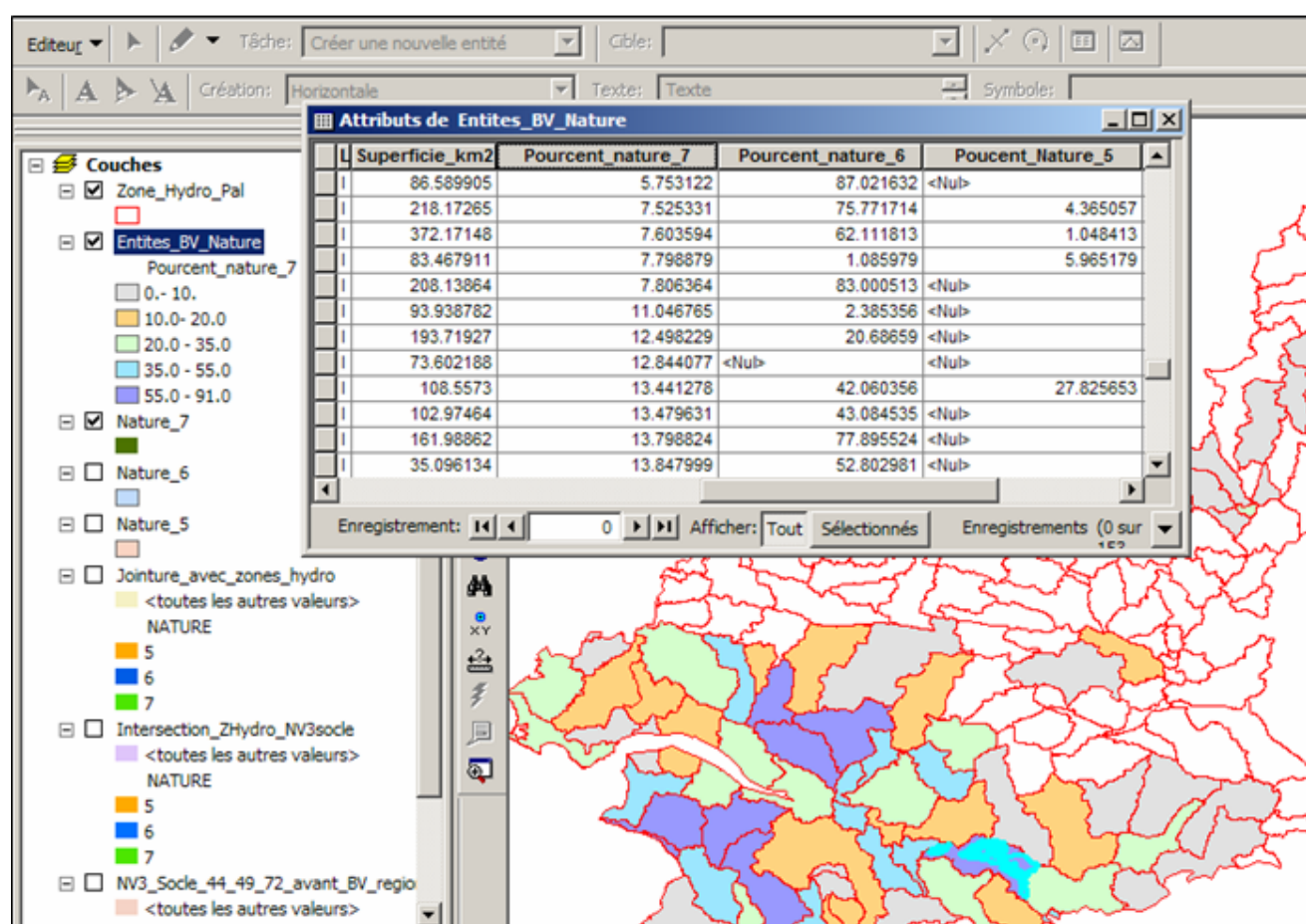


Illustration 9 – Table après étape 4

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

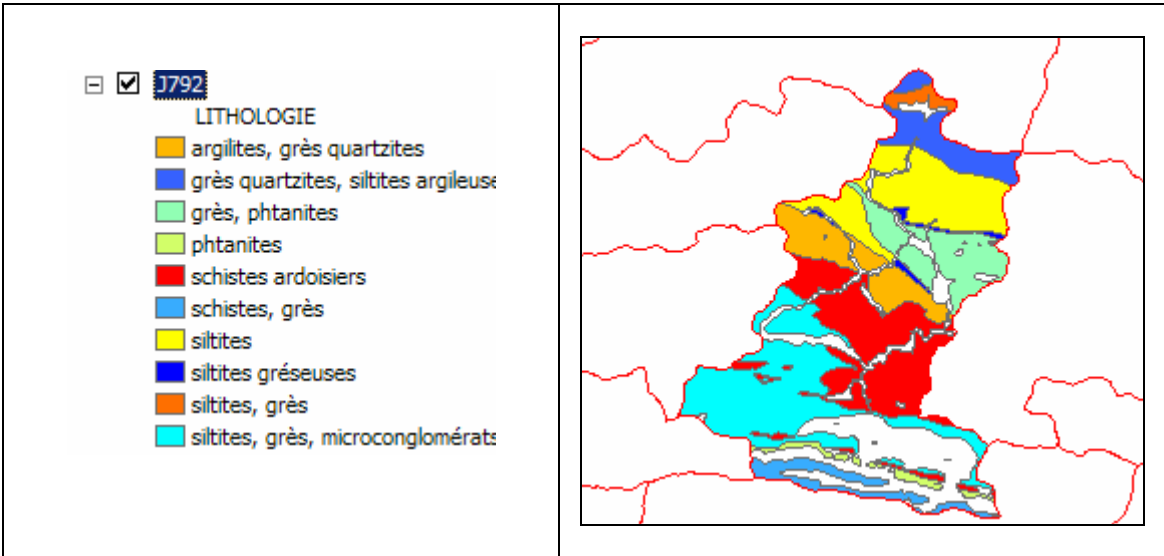


Illustration 11 – Exemple d'un BV-Entité caractérisé par une lithologie (sélection dans la table attributaire issue de l'étape d'intersection)
(en blanc les polygones non renseignés)
La lithologie est ici bien détaillée mais peut aussi être réduite à quelques grandes classes

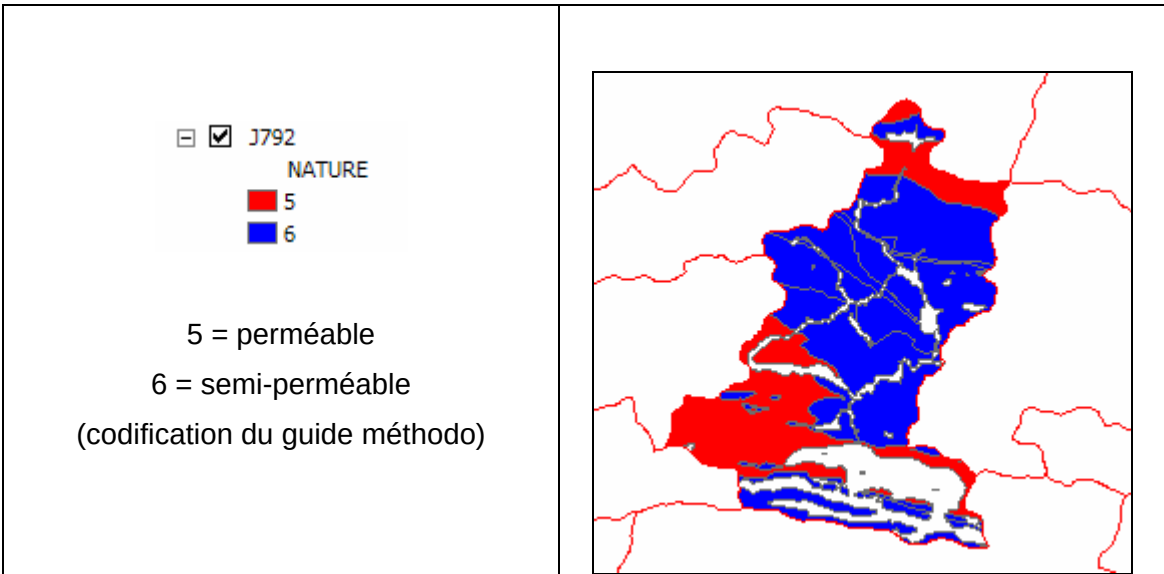


Illustration 12 – Exemple d'un BV-Entité caractérisé par une classe de perméabilité (sélection dans la table attributaire issue de l'étape 2)
(en blanc les polygones non renseignés)

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

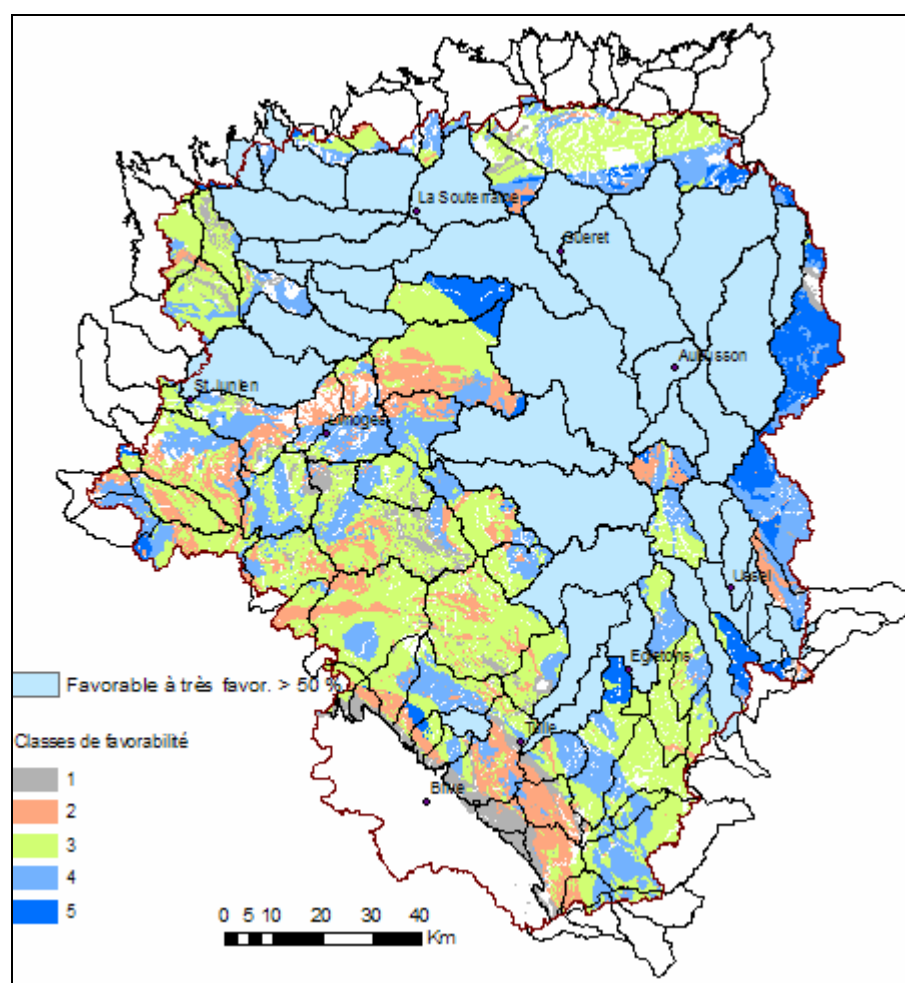
Cet exemple est relatif au socle en région Limousin où les entités NV3 ont pu être caractérisés par un critère "favorabilité" (potentiel aquifère).

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 ainsi 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 % de quoi ? compte tenu des formations de recouvrement.

Ce qui précède n'est pas clair.

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 4 - Lexique de caractérisation des entités hydrogéologiques et des limites

(guide méthodologique, rapport BRGM RP-52261-FR)

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 ci-dessous) ;
- **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.

Notation	Code	Libellé
ALL	1	Alluvial
SED	2	Sédimentaire
SOC	3	Socle
IPM	4	Intensément plissés de montagne
VOL	5	Volcanisme

Thème de rattachement des entités à une formation géologique

Notation	Code	Libellé
GSA	1	Grand système aquifère
GDH	2	Grand Domaine hydrogéologique
SA	3	Système aquifère
DH	4	Domaine hydrogéologique
UA	5	Unité aquifère
USP	6	Unité semi-perméable
UIP	7	Unité imperméable

Nature des entités

Notation	Code	Libellé
INC	0	Inconnu
PM	1	Milieu poreux
PF	2	Milieu fissuré
PK	3	Milieu karstique
DP	4	Double porosité

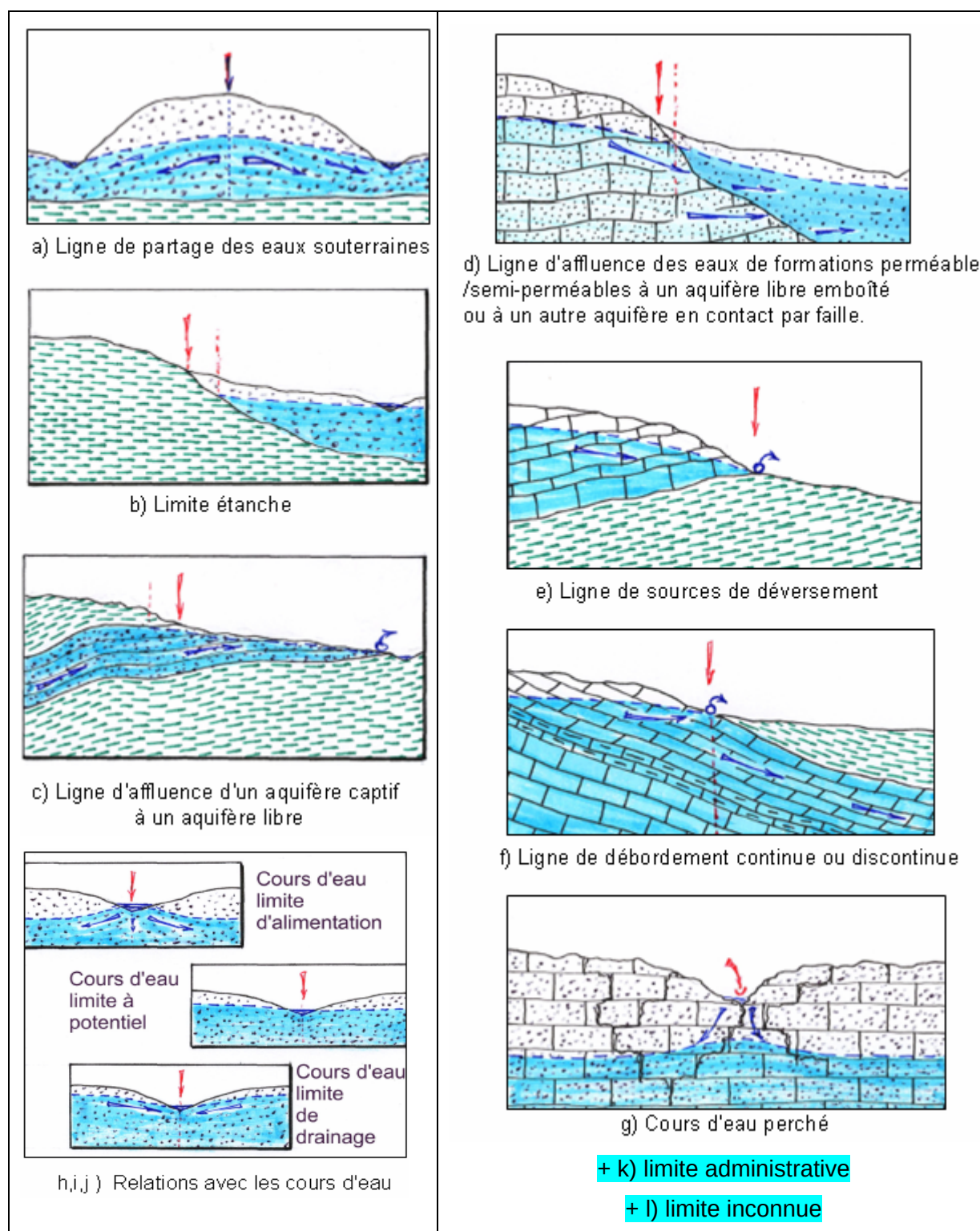
PM =porosité matricielle PF=porosité de fissure,....

Type de milieu (porosité)

Notation	Code	Libellé
C	1	Nappe captive
L	2	Nappe libre
LC	3	Libre et captive
ALC	4	Alternativement libre puis captive

Etat de la nappe

2. Les 12 types de limites définis dans le guide méthodologique



Annexe 5 - Le modèle de gestion du référentiel

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

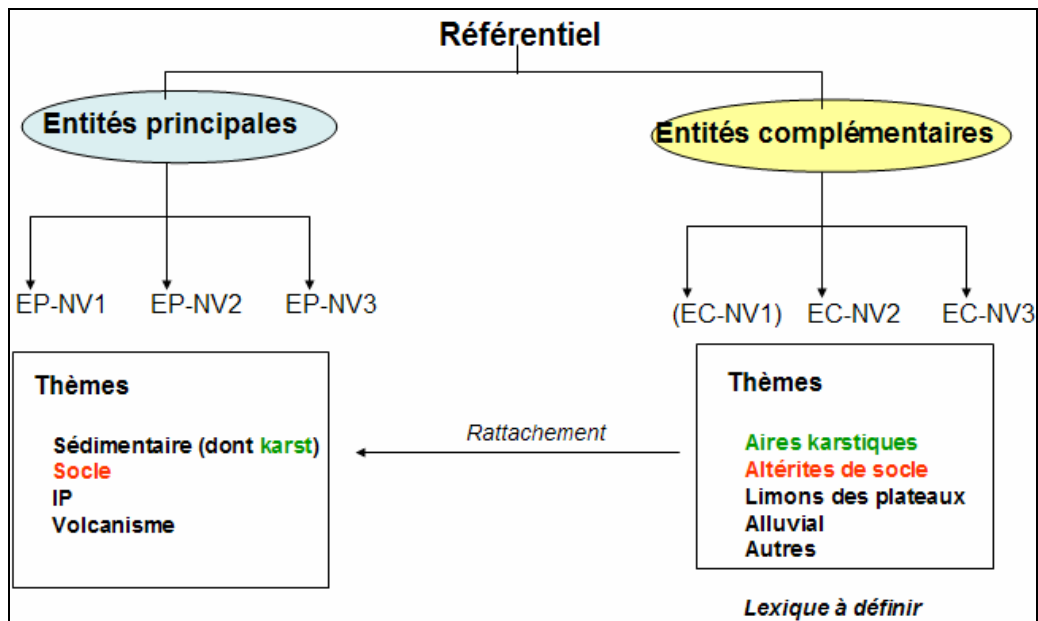


Illustration A1 – Organisation générale du référentiel

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.

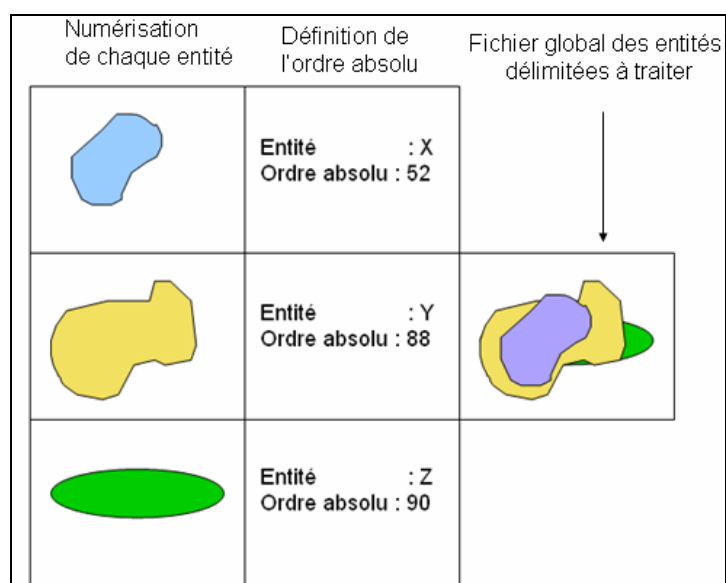


Illustration A2 – Ordonnancement des entités par un âge absolu

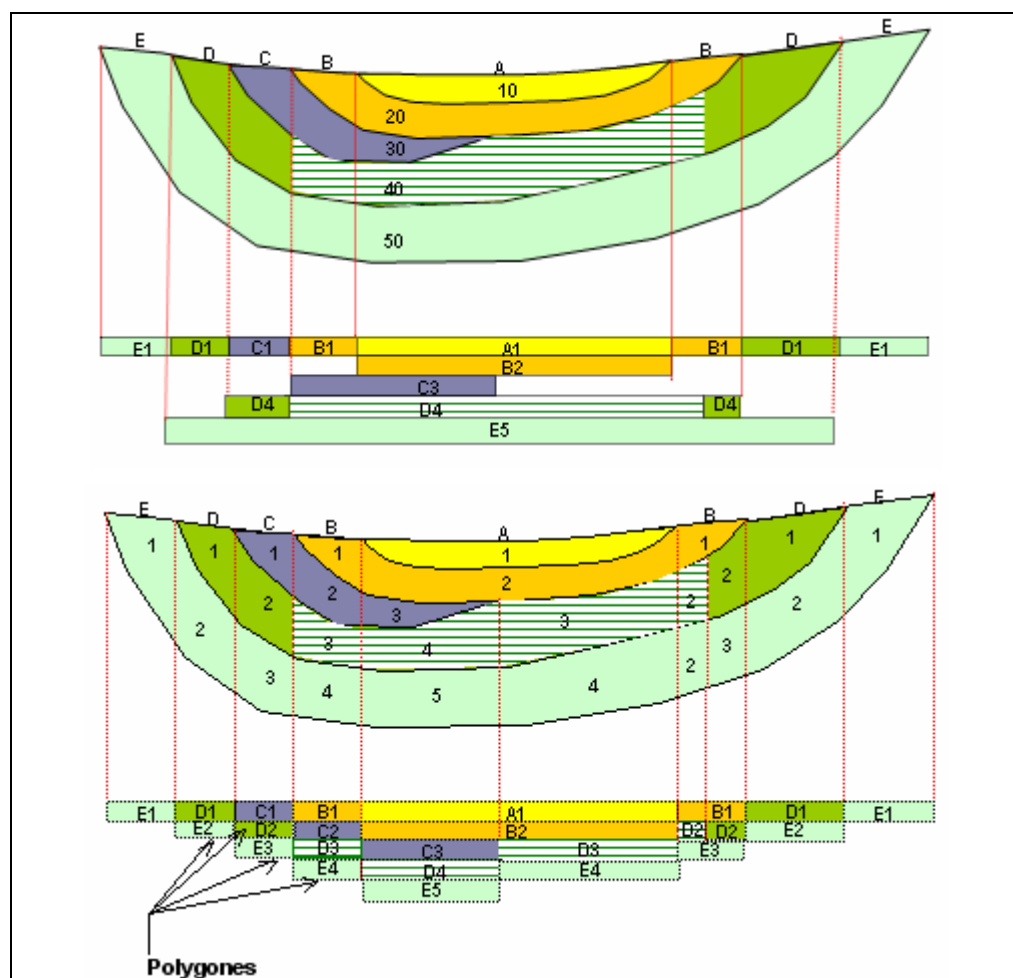


Illustration A3 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif.

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).

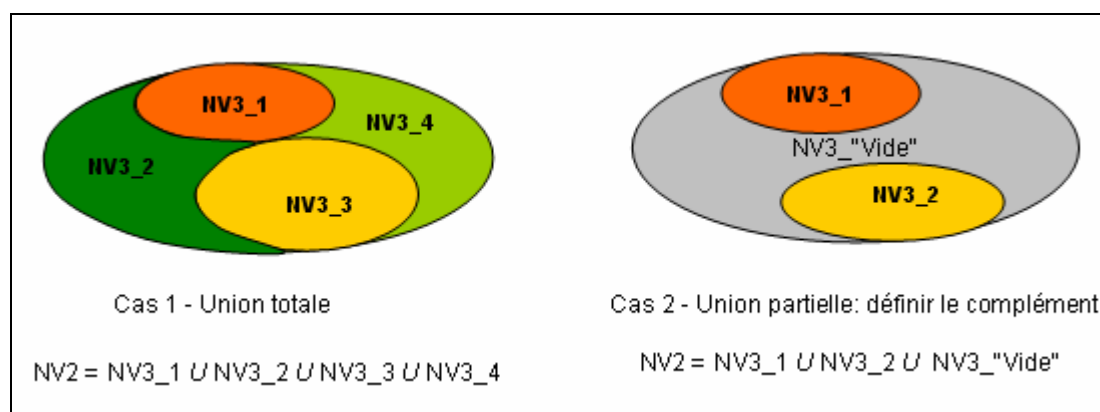


Illustration A4 - Reconstitution d'une entité de niveau 2 à par d'entités de niveau 3.

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").

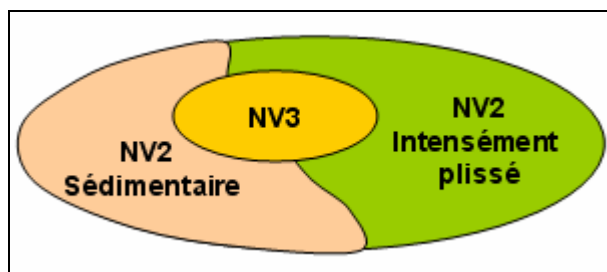


Illustration A5 – Entité de niveau 3 s'étendant sur 2 entités de niveau 2.

1.2.4. Héritage

• Attributs des entités

La caractérisation des entités de niveau 2 est faite à partir des attributs des entités de niveau 3. Il ne sera en effet pas toujours possible de définir globalement une entité de niveau 2 (et *a fortiori* de niveau 1) par un attribut unique, surtout lorsque les entités constitutives sont de types différents, par exemple au regard de la porosité (matricielle de fissure, de karst, ou encore double porosité).

Soit par exemple une entité de niveau 2 notée 10A, constituée de 3 entités de niveau 3. Le modèle de gestion permet de connaître le % de chaque entité de niveau 3 dans l'entité de niveau 2.

Niveau 2	Niveau 3	Porosité
10A	unité aquifère 10 A1 (craie), 30 %	double porosité (matrice et fissures)
	unité aquifère 10 A2 (craie), 20 %	double porosité (matrice et fissures)
	unité imperméable 10 A3, 50 %	porosité matricielle

L'entité de niveau 2, compte tenu la superficie totale des entités de niveau 3 qu'elle regroupe (et non pas des volumes) peut être rangée soit dans un domaine, soit dans un système aquifère avec le type de porosité correspondante.

Si le choix de la nature du niveau 2 (domaine ou aquifère) peut être laissé à l'appréciation de l'hydrogéologue, il est intéressant de remplir le champ "Type de milieu (porosité)" en mentionnant les types de porosité rencontrés au niveau 3 au prorata des surfaces observées, par exemple: "50 % DP, 50 % PM".

• 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.

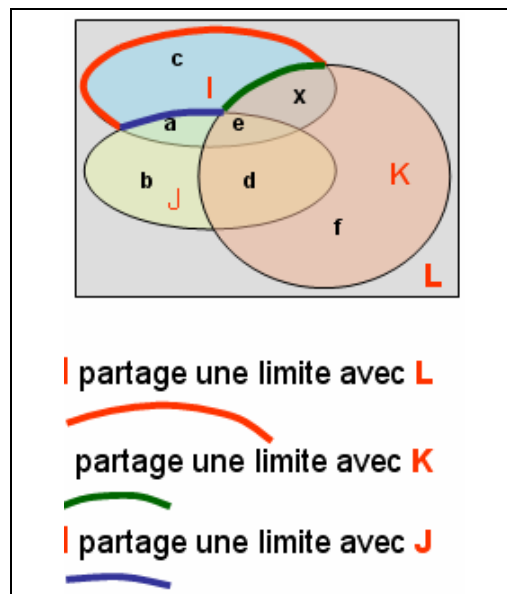


Illustration A6 – Restitution des limites des entités à partir de la table des polygones.

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.

- 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.

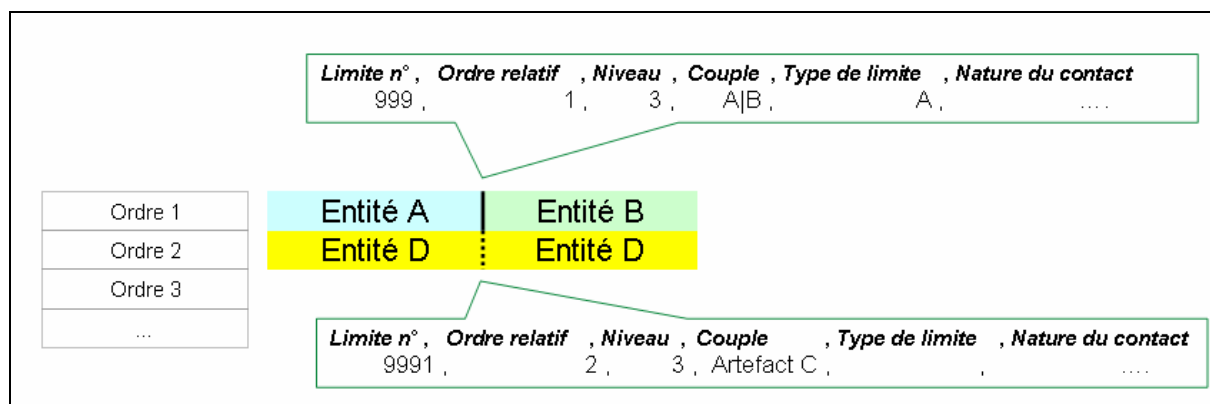


Illustration A7 – Exemple de contacts entre entités

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_LEXIQUES_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).

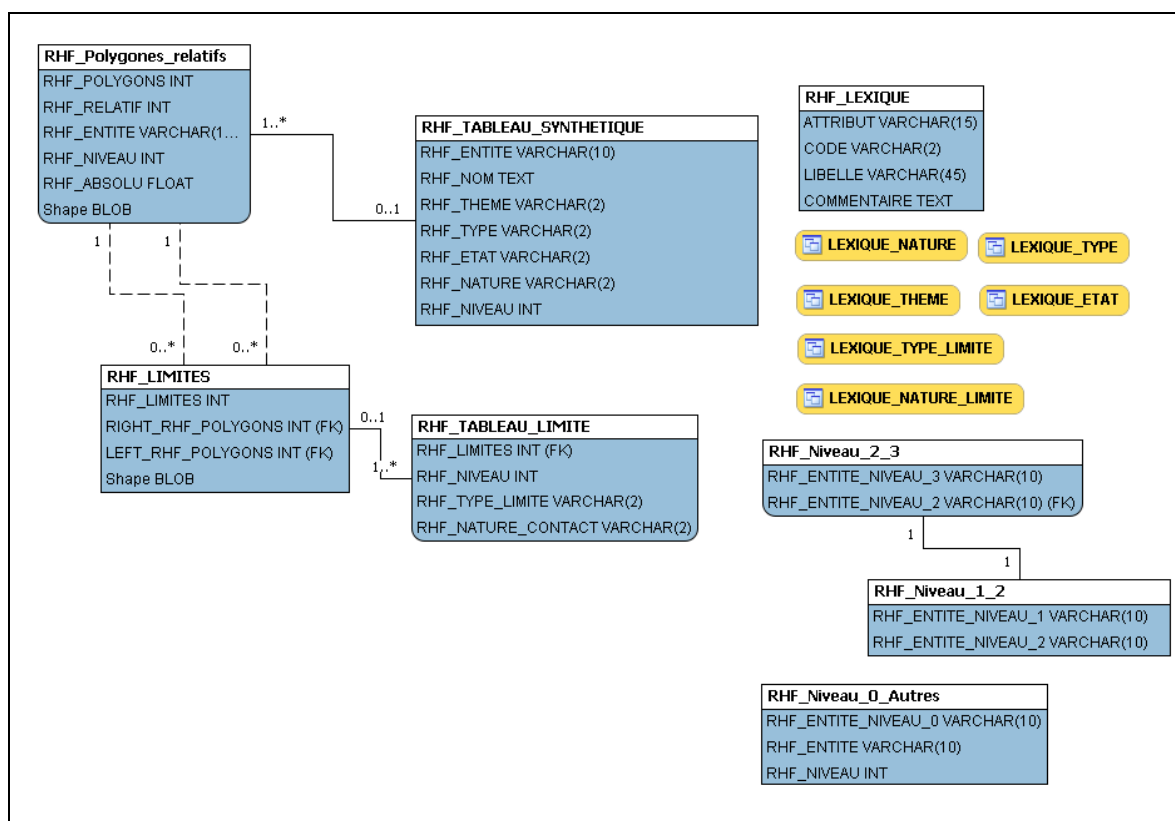


Illustration A10 – Modèle conceptuel de la géodatabase

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_**.

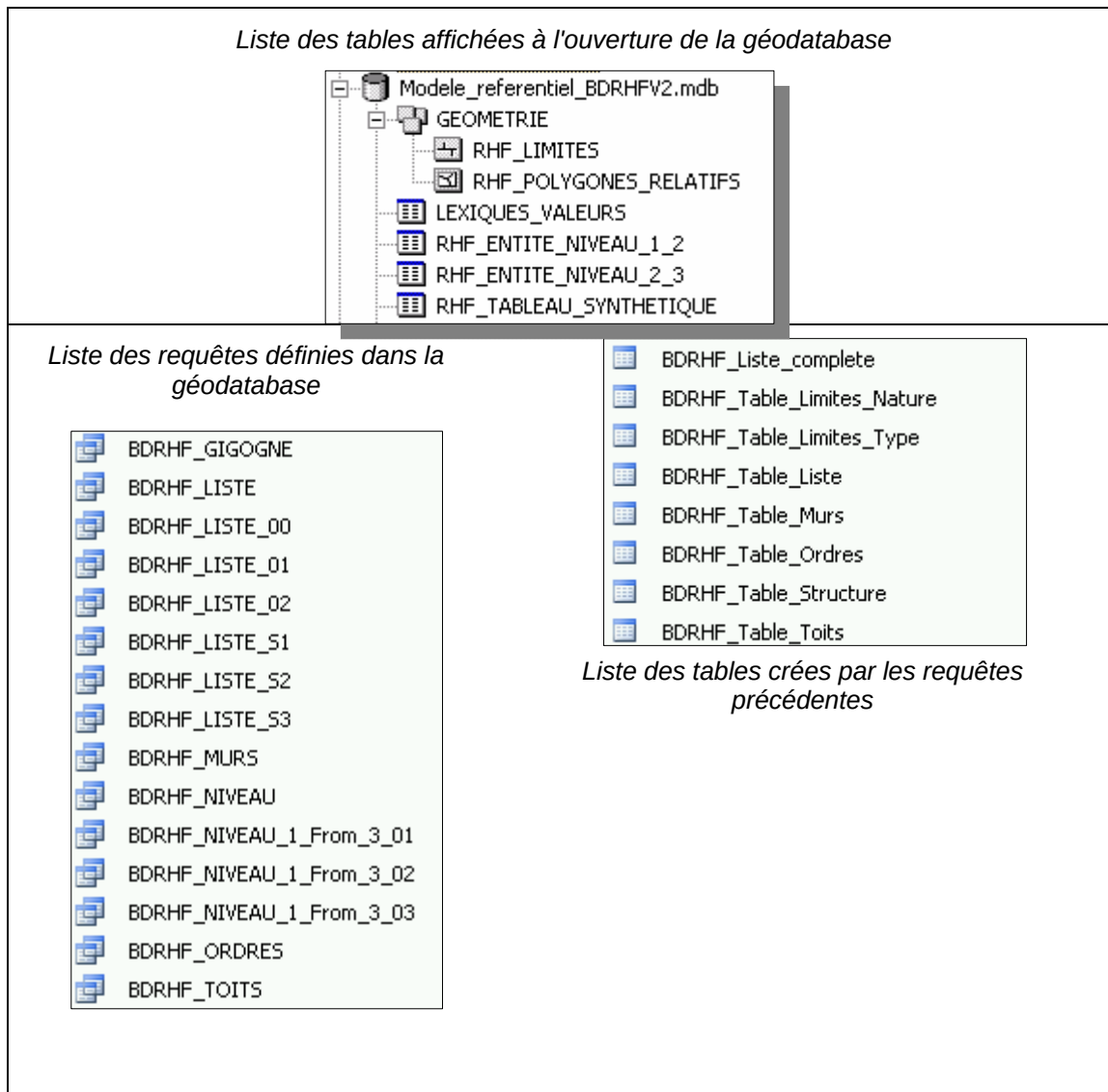


Illustration A11 – Liste des tables et des requêtes dans la géodatabase du référentiel

Remarque: la taille de certaines géodatabases (cas de l'Aquitaine) ne permet pas d'avoir les 3 niveaux de découpage rassemblés dans une géodatabase unique (cas par exemple de l'Aquitaine). Il y donc une géodatabase de niveau 3 et une rassemblant les niveaux 1 et 2.

2.2. DESCRIPTION DES 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).

En sélectionnant "RHF_Polygones relatifs", la couche des polygones qui composent les entités s'affiche à l'écran (illustration A12). Un niveau puis un ordre de superposition peuvent être sélectionnés.

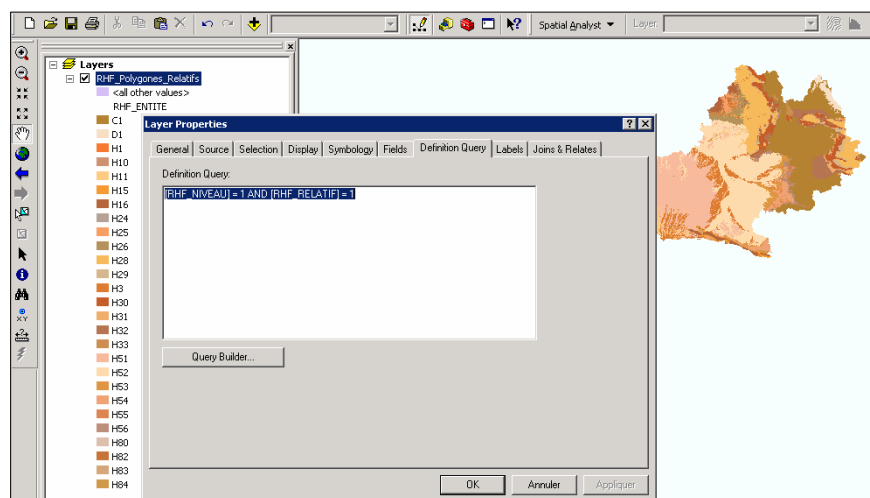
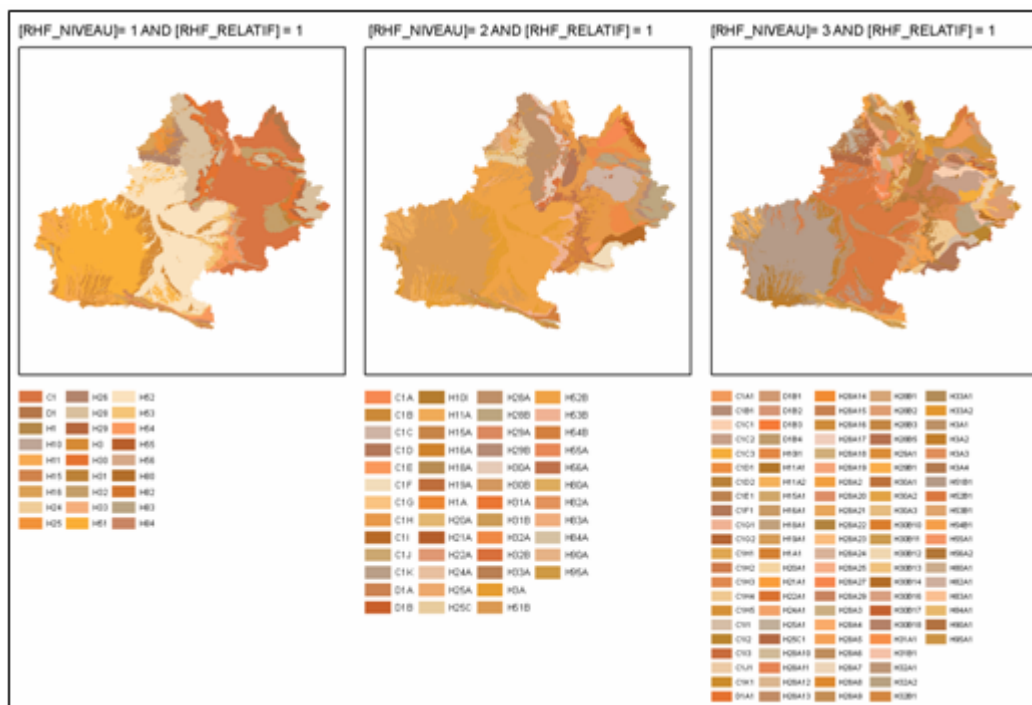


Illustration A12 – Table des polygones multiples de niveau 1 et d'ordre 1 en région MPY

Dans l'illustration suivante, la couche de RHF_Polygones_Relatifs est affichée pour les 3 niveaux de regroupement du référentiel

- [RHF_NIVEAU] = 1 AND [RHF_RELATIF] = 1
- [RHF_NIVEAU] = 2 AND [RHF_RELATIF] = 1
- [RHF_NIVEAU] = 3 AND [RHF_RELATIF] = 1



2.2.2. Table RHF_Tableau_Synthetique

La table RHF_Tableau_Synthetique est la transcription au format MSACCESS du tableau synthétique.

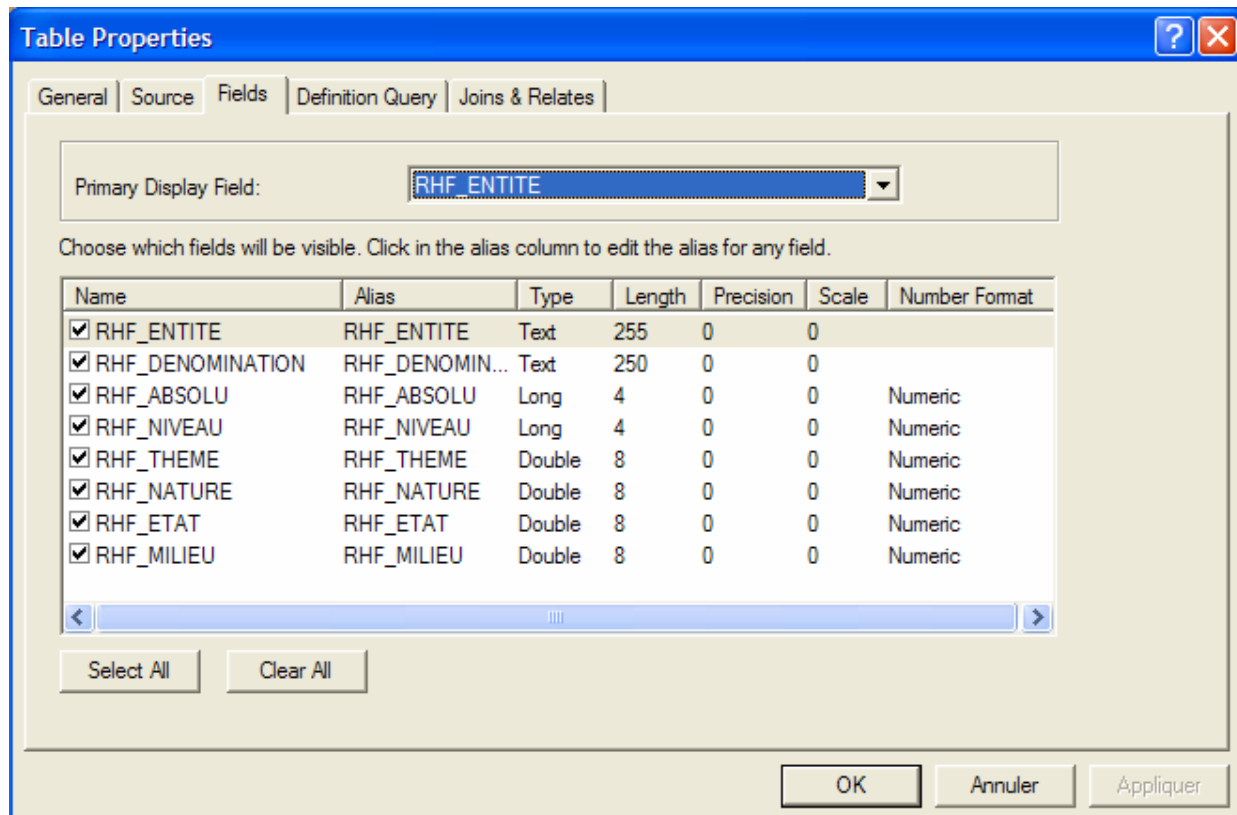


Illustration A14 - Table RHF_Tableau_Synthetique

Le champ RHF_ENTITE permet la jointure thématique avec la table des polygones d'entités (RHF_Polygones_multiples).

Attributes of RHF_TABLEAU_SYNTHETIQUE								
RHF_ENTITE	RHF_DENOMINATION	RHF_ABSOLU	RHF_NIVEAU	RHF_THEME	RHF_NATURE	RHF_ETAT	RHF_MILIEU	
F10	KIMMERIDGIEN-CALLOVIEN	16115	1	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
F10F	Domaine hydrogéologique des marnes et calcaires inférieurs du Kim. au callovien	15300	2	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
F10F1	Unité aquifère des calcaires à Astartes du Perche (Oxfordien supérieur)	15300	3	2	5	3	4	
F10F2	Unité aquifère des calcaires coralliens de l'Oxfordien moyen	15900	3	2	5	3	4	
F10G	Domaine hydrogéologique des marnes callovo-oxfordiennes	15455	2	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
F10G1	Unité semi-perméable des marnes bleues à Encrines (oxfordien moyen - oxfordien supérieur)	15455	3	2	<Null>	3	1	
F10G10	Unité semi-perméable des marnes de Domfront en Champagne, du Chevain et des oolites de Suré (Callovi	16230	3	2	6	3	1	
F10G11	Unité semi-perméable des calcaires marneux à brachiopodes (Callovien inférieur)	16300	3	2	6	3	1	
F10G2	Unité imperméable des marnes à spongiaires (Callovien à Oxfordien moyen)	15700	3	2	<Null>	3	1	
F10G3	Unité aquifère des sables du Vairais et de Mortagne (Oxfordien inférieur)	15995	3	2	5	3	1	
F10G4	Unité imperméable des marnes à Pernes et des marnes sableuses de la Vacherie et de la Buraisaire (Call	16000	3	2	<Null>	3	1	
F10G5	Unité aquifère des sables de Saint-Fulgent-des-Ormes (Callovien supérieur)	16115	3	2	<Null>	3	1	
F10G6	Unité imperméable des marnes de Montmarlo et de Montbizot (Callovien supérieur)	16120	3	2	<Null>	3	1	
F10G7	Unité aquifère des calcaires sableux de Teillé (Callovien moyen)	16125	3	2	<Null>	3	1	
F10G8	Unité imperméable des marnes de Maresché et de Saint-Calez-en-Saosnois (Callovien moyen)	16200	3	2	<Null>	3	1	
F10G9	Unité semi-perméable des marnes d'Assé le Riboul et des oolites (Callovien inférieur et moyen)	16210	3	2	<Null>	3	1	
F11	DOGGER	16470	1	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
F11S	Domaine hydrogéologique des marnes du Dogger	16472	2	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
F11S1	Unité semi-perméable des marnes de Bourg le Roi (Baéonien supérieur)	16472	3	2	6	3	1	
F11T	Système aquifère des calcaires du DOGGER (Bajocien-Baéonien)	16470	2	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
F11T1	Unité aquifère des calcaires noduleux à silex du Baéonien	16470	3	2	5	3	2	
F11T2	Unité aquifère des oolites ferrugineuses et du calcaire à Montlivaultia (Baéonien supérieur)	16470	3	2	5	3	3	
F11T3	Unité aquifère des calcaires et oolites du Saosnois (Bajocien supérieur à Baéonien supérieur)	16770	3	2	5	3	3	
F11T4	Unité aquifère des calcaires graveleux de la champagne, de Conlie(Aalénien moyen, Bajocien, Baéonien)	16900	3	2	5	3	3	
F11T5	Unité aquifère des arkoses d'Alençon et des graviers, sables et grès de tessé (Aalénien)	17160	3	2	5	3	1	
F12	Lias	17560	1	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
F12A	Domaine hydrogéologique marnes du Lias supérieur	17560	2	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	
F12A1	Unité semi-perméable des calcaires marneux et marnes du Tessé	17560	3	2	<Null>	3	2	

Illustration A15 – Jointure avec la table RHF_Tableau_Synthetique

Ainsi, la table **RHF_Polygones_Multiples** est en règle générale associée à la table **RHF_Tableau synthétique** pour permettre une représentation thématique basée sur la nature, le type, l'état ou le milieu des entités.

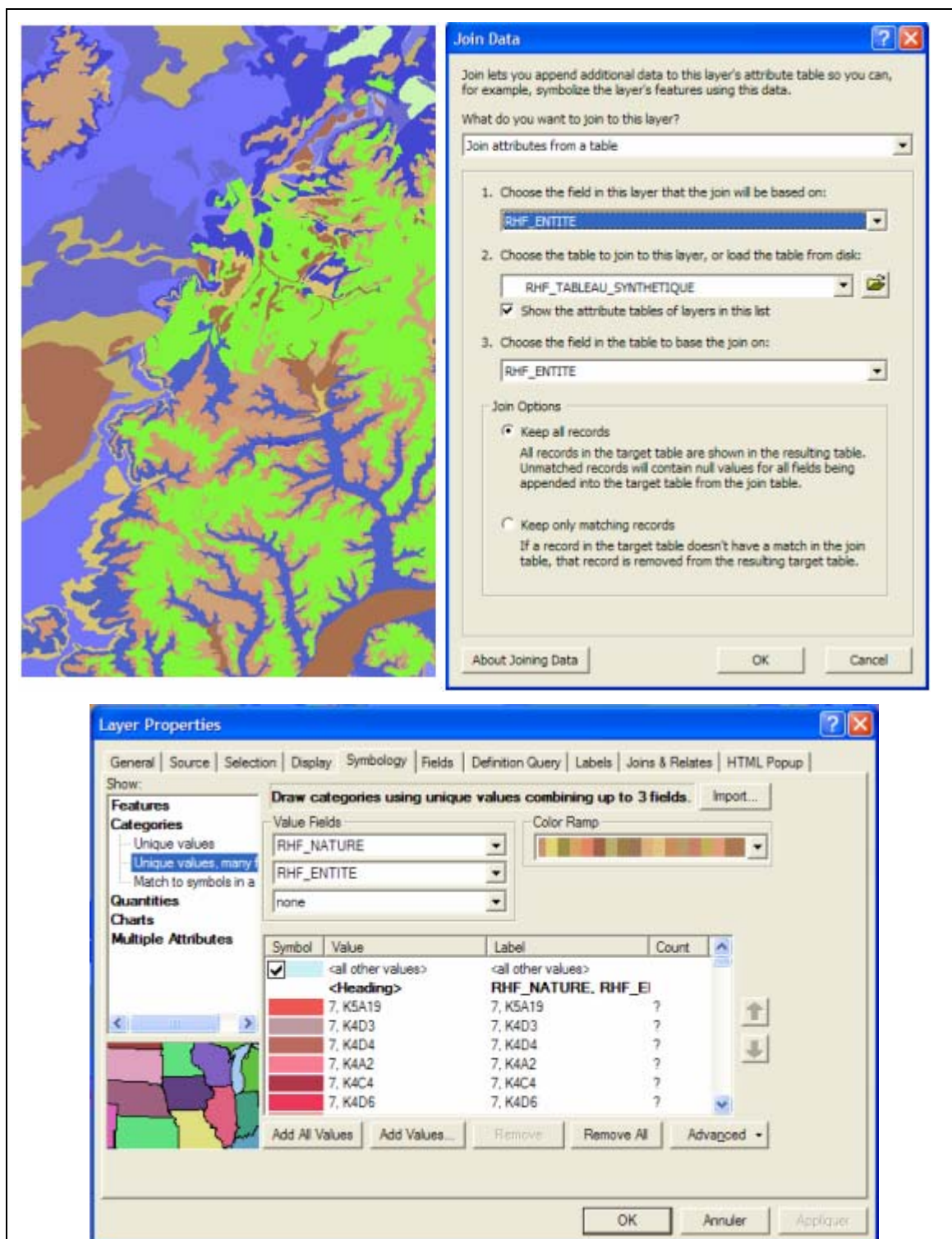


Illustration A16 –Exemple d'analyse thématique après jointure

2.2.3. Table des limites

La seconde couche vecteur correspondant à la table des limites (illustration A17), appelée "**RHF_Limites**" (limites des entités d'ordre 1 et plus).

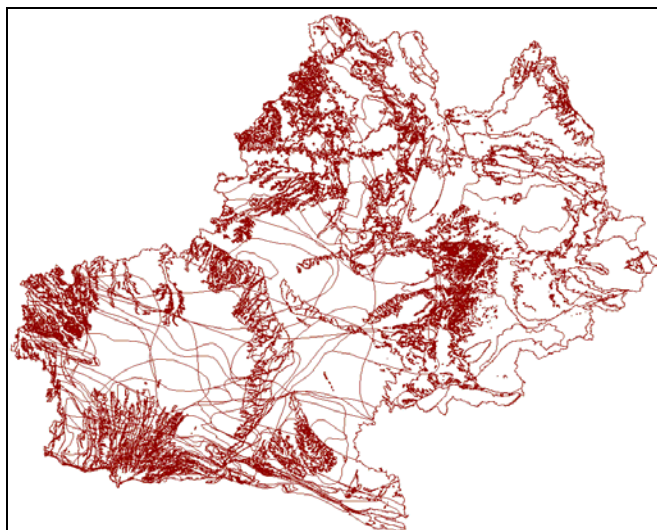


Illustration A17 – Table des limites des entités d'ordre 1
(exemple de la région Midi-Pyrénées)

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.

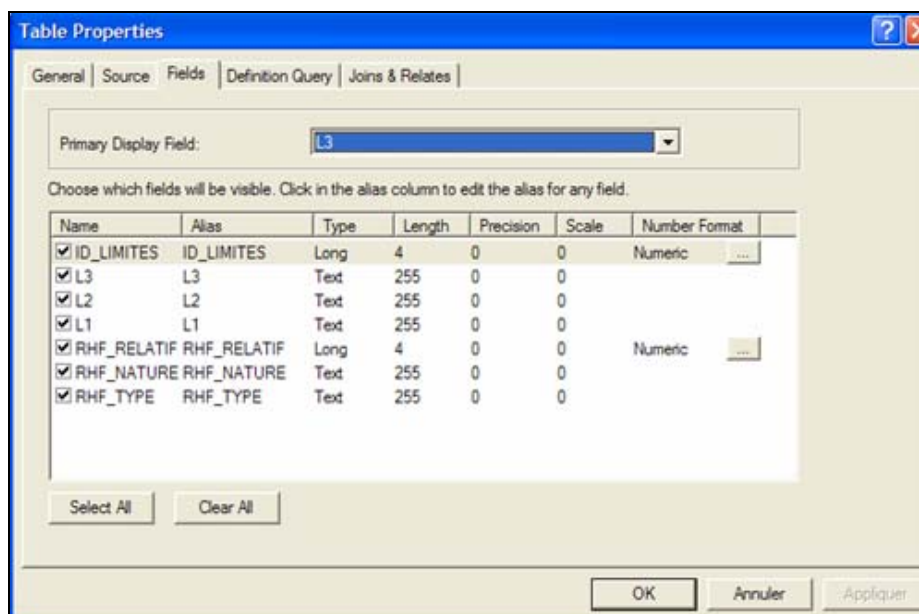


Illustration A18 – Table de la nature des limites

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_LEXIQUES_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 A19 – Lexique de la nature des contacts

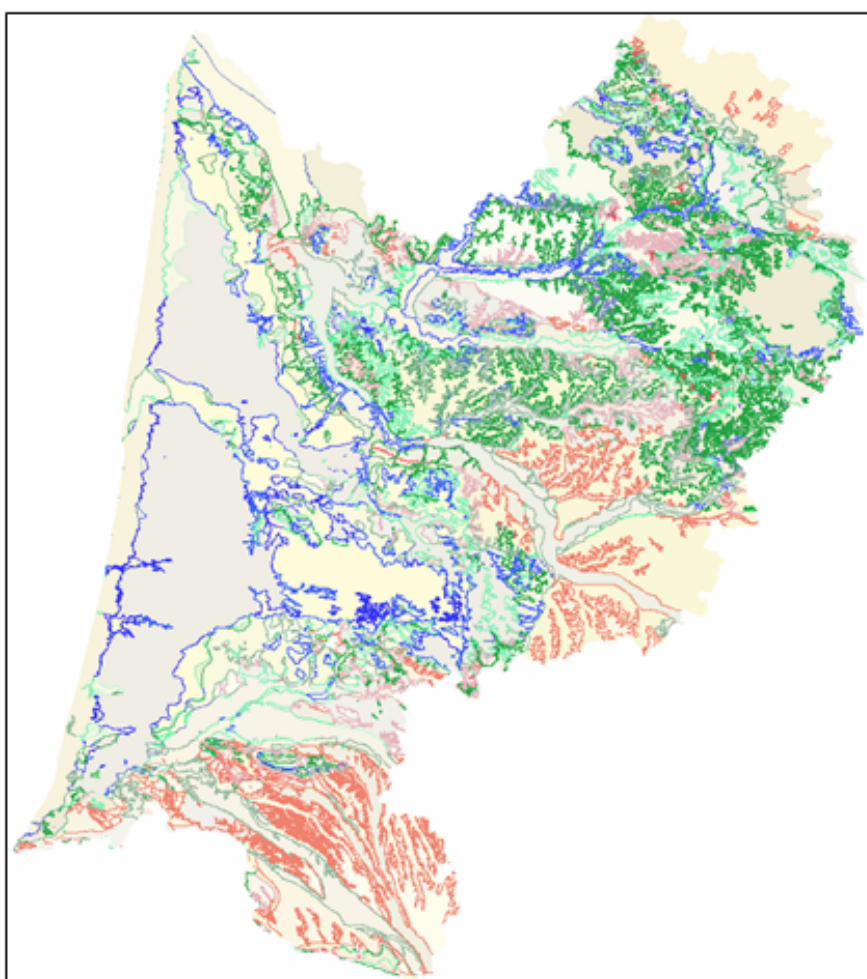


Illustration A20 – Exemple de représentation des limites en fonction de la nature des contacts (référentiel de l'Aquitaine)

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)

RHF_ENTITE	RHF_ABSOLU	Position	TOIT	LIBELLE	ORDRE_ABSO	Part_Toits	SToits	Surface	RHF_NIVEAU
10A	100	Toit	1B	Domaine aquifère	10	0.5628394038	711758480	48054244348	2
10A	100	Toit	7B	Système aquifère	70	0.0017709860	2239563	2529170755.2	2
10A	100	Toit	8B	Domaine impen	80	0.0742439338	93887793	11381268398	2
10A1	100	Toit	1B4	Domaine aquifère	10	0.9297574797	17265823	37140487.444	3
10A2	100	Toit	1B3	Domaine aquifère	10	0.0004950633	57642	116433589.51	3
10A2	100	Toit	1B4	Domaine aquifère	10	0.8677559751	101035943	465734358.05	3
10A3	100	Toit	1B7	Domaine aquifère	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 aquifère	10	0.2818628625	89605078	317903100.79	3
10A4	100	Toit	1B6	Domaine aquifère	10	0.4512132491	143442091	317903100.79	3
10A5	100	Toit	1B3	Domaine aquifère	10	0.4961843609	119449097	2648088433.8	3
10A6	100	Toit	1B2	Domaine aquifère	10	0.5742847963	82878229	1010208883.7	3
10A6	100	Toit	8B5	Domaine impen	80	0.0132702258	1915100	144315554.81	3
10A7	100	Toit	1B8	Domaine aquifère	10	0.0052030419	324017	124549065.16	3
10A7	100	Toit	8B5	Domaine impen	80	0.1076240756	6702239	124549065.16	3
10A9	100	Toit	1B1	Domaine aquifère	10	0.0408405355	6567742	295375395.14	3

Illustration A21 – 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 A22 – Table des toits (exemple de la région Poitou-Charentes)

Table (requête) : BDRHF_TABLE_MUR (BDRHF_MUR)

RHF_ENTITE	RHF_ABSOLU	Position	MURS	LIBELLE	ORDRE_ABSOLU	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	7656744	16584901422	0.00046161394	66339605887	1

Illustration 23 – Table des murs (exemple de la région Poitou-Charente)

	Description des attributs de la table/requête des murs
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 A24 – 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 A25 - Table des ordres



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

Service géologique régional Alsace
15, rue du Tanin, Parc Club des Tanneries
Lingolsheim - BP 70177
67834 –Tanneries – Cedex
Tél. : 03 88 77 48 90