

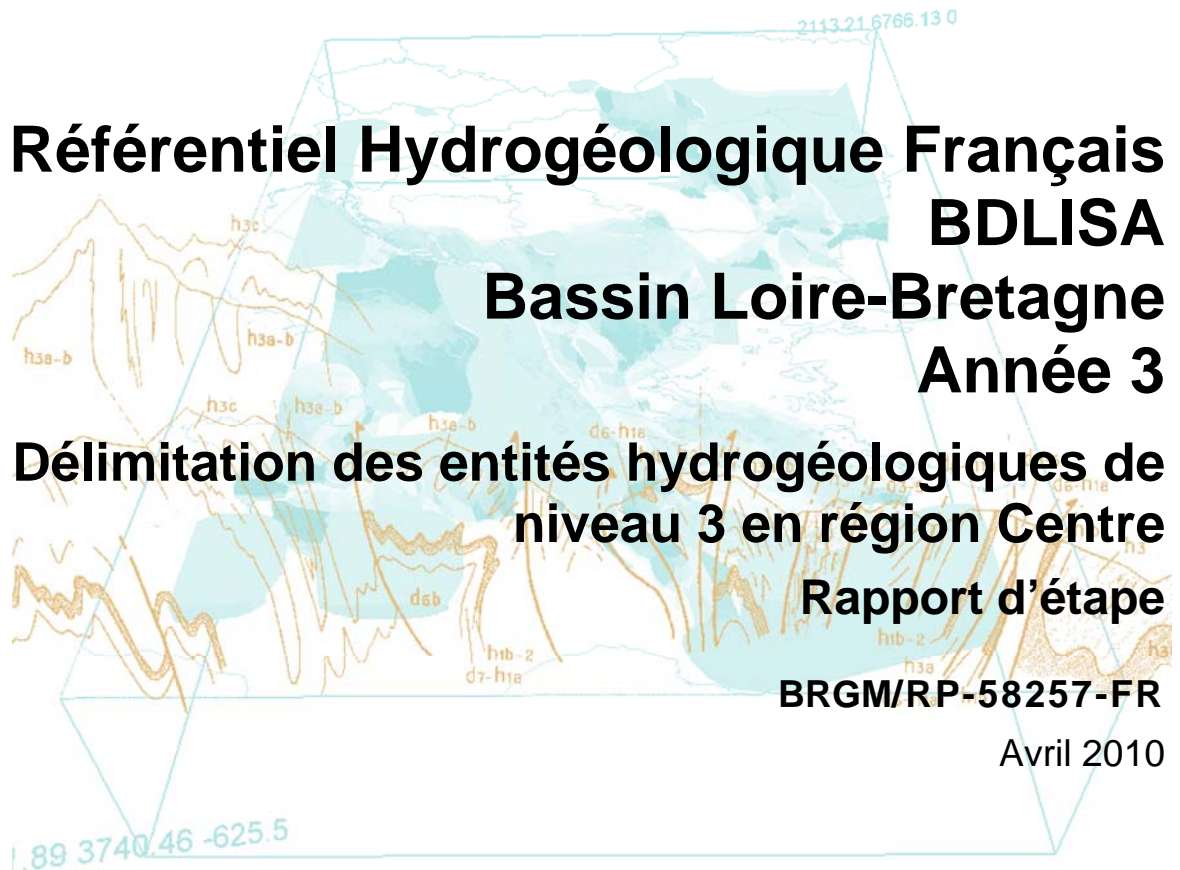


# Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA Bassin Loire-Bretagne Année 3

## Délimitation des entités hydrogéologiques de niveau 3 en région Centre Rapport d'étape

BRGM/RP-58257-FR

Avril 2010





# Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA Bassin Loire-Bretagne Année 3

## Délimitation des entités hydrogéologiques de niveau 3 en région Centre Rapport d'étape

BRGM/RP-58257-FR

Avril 2010

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

**S. Schomburgk**

avec la collaboration de **E. Lalot, Ph. Maget, V. Mardhel,  
J. C. Martin, C. Robelin**



**Vérificateur**  
Jean-Jacques Seguin

**Approbateur**  
Michel Leclercq

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



Établissement public du ministère  
chargé du développement durable

**Mots clés** : Référentiel hydrogéologique, système aquifère, domaine hydrogéologique, Région Centre, Loire-Bretagne.

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

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

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

## Synthèse

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la construction de la version 2 du Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA (anciennement BDRHF-V2). Elle concerne les formations sédimentaires de la région Centre. L'extrémité sud de la région (environ 1000 km<sup>2</sup>), située en domaine de socle, a été traitée en continuité avec les entités de socle de la région Limousin (rapport BRGM RP-57837-FR). Au nord, la totalité de la Beauce a été prise en compte (donc y compris la partie située dans le bassin Seine-Normandie): le "Référentiel Centre" intègre ainsi le sud des départements de l'Essonne et des Yvelines de la région Ile-de-France (environ 1500 km<sup>2</sup>).

Une analyse des cartes géologiques harmonisées (échelle du 1/50 000) et des logs validés des forages a permis de construire un tableau multi-échelles comprenant et caractérisant:

- **70 entités de niveau local (NV3)**, différenciées en "*unités aquifères*", "*unités semi-perméables*" et "*unités imperméables*" (selon la terminologie du guide méthodologique national);
- **36 entités de niveau régional (NV2)**, différenciées en "*systèmes aquifères*" et "*domaines hydrogéologiques*";
- **14 grands systèmes ou grands domaines de niveau national (NV1)**

Les entités de niveau 1 ont été définies sur la base du travail déjà réalisé en région Centre en année 1 du projet national (délimitation des entités de niveau 1 et 2, rapport BRGM RP-56055-FR). Mais, pour être en cohérence avec les regroupements faits par ailleurs dans le Bassin Parisien, un regroupement différent des entités de niveau 2 de la région est proposé, conduisant à 15 grands ensembles NV1.

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

...



# Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Caractéristiques du référentiel BDLISA et méthodologie de découpage des entités</b> .....	<b>13</b>
2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION.....	13
2.1.1. Les "thèmes" du référentiel .....	13
2.1.2. Les différents types d'entités hydrogéologiques.....	13
2.1.3. Les niveaux d'identification.....	15
2.1.4. Codification et dénomination des entités.....	15
2.2. LE MODÈLE DE REPRÉSENTATION DES ENTITÉS.....	16
2.2.1. Principes sous-jacents.....	16
2.2.2. Organisation des entités en 2 ensembles .....	16
2.2.3. Ordre absolu et ordre relatif.....	17
2.3. PRINCIPES ET DÉMARCHE DE DÉLIMITATION .....	17
2.3.1. Principes de base du découpage .....	17
2.3.2. Démarche générale .....	19
2.3.3. Restitution par le modèle de gestion des 3 niveaux de découpage .....	20
2.3.4. Vérification de la topologie .....	21
2.4. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS ET DES LIMITES .....	22
2.4.1. Caractérisation des entités .....	22
2.4.2. Caractérisation des limites .....	22
<b>3. Mise en œuvre du découpage des entités</b> .....	<b>25</b>
3.1. BASE DE DONNÉES.....	25
3.1.1. Données de référence .....	25
3.1.2. Constitution d'une base de données géologiques (ArcGis).....	25

3.2. ÉLABORATION DU TABLEAU MULTI-ÉCHELLES .....	28
3.2.1. Etape 1: utilisation des cartes géologiques harmonisées .....	28
3.2.2. Etape 2: utilisation des logs géologiques .....	30
3.2.3. Utilisation des forages AEP .....	31
3.2.4. Le tableau multi-échelles .....	33
3.3. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS DU THÈME SÉDIMENTAIRE .....	34
3.3.1. Construction des entités .....	34
3.3.2. Principales sources de difficultés .....	36
<b>4. Résultats: géodatabase et fiches d'analyse .....</b>	<b>39</b>
4.1. GÉODATABASE .....	39
4.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS .....	44
<b>5. Description des entités hydrogéologiques .....</b>	<b>47</b>
5.1. ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES DU TERTIAIRE .....	47
5.1.1. Les sables et argiles du Bourbonnais .....	47
5.1.2. Les formations calcaires "superficielles" du Tertiaire .....	48
5.1.3. Les formations de Sologne (F2C) .....	49
5.1.4. Les Calcaires de Beauce .....	50
5.1.5. Les Sables de Fontainebleau et les Calcaires de Brie .....	51
5.1.6. Marnes vertes et Marnes supragypseuses du Rupélien .....	52
5.1.7. Calcaires de Saint Ouen et Sables de Monceau du Bartonien .....	53
5.1.8. Sables et argiles de Brenne du Bartonien .....	53
5.1.9. Poudingues, Calcaires, Marnes et Caillasses du l'Eocène moyen et inférieur .....	54
5.1.10. Formations résiduelles post-campanien .....	55
5.2. ENTITÉS DU SECONDAIRE: LE CRÉTACÉ .....	55
5.2.1. La Craie et les Sables du Séno-Turonien .....	55
5.2.2. Craies marneuses et Marnes cénomaniennes et turoniennes .....	57
5.2.3. Les Sables du Cénomaniens .....	58

5.2.4. Marnes et Craies marneuses du Cénomanién .....	60
5.2.5. Les Argiles de l'Albién moyen à supérieur.....	60
5.2.6. Les sables de l'Albién.....	60
5.2.7. Argiles de l'Aptien-Barrémién .....	61
5.2.8. Sables et Calcaires du Néocomién .....	61
<b>5.3. ENTITÉS DU SECONDAIRE: LE JURASSIQUE .....</b>	<b>61</b>
5.3.1. Les Calcaires du Tithonien (anc. Portlandien/faciès Purbeckien) .....	62
5.3.2. Marnes du Kimméridgién.....	63
5.3.3. Calcaires du Kimméridgién inférieur et de l'Oxfordien .....	63
5.3.4. Calcaires argileux de l'Oxfordien.....	64
5.3.5. Marnes Callovo-Oxfordiennes .....	64
5.3.6. Calcaires et Marnes du Dogger (Bathonien à Callovién) .....	64
5.3.7. Calcaires et sillon marneux du Dogger (Bathonien) .....	66
5.3.8. Marnes du Bajocién.....	66
5.3.9. Calcaires du Dogger (Aalénién-Bajocién) .....	67
5.3.10. Marnes du Lias supérieur .....	67
5.3.11. Calcaires argileux du Lias inférieur.....	67
<b>5.4. ENTITÉS DU SECONDAIRE: LE TRIAS.....</b>	<b>68</b>
5.4.1. Grès et Argiles du Keuper (Trias).....	68
5.4.2. Argiles, dolomie et grès du trias moyen à supérieur .....	68
<b>5.5. ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES COMPLÉMENTAIRES.....</b>	<b>69</b>
5.5.1. Alluvions .....	69
5.5.2. Aires productives des alluvions .....	70
5.5.3. Les argiles à silex (cf. entité F5B) .....	71
5.5.4. Les Karsts de la Loire (cf. entité F3C_3) .....	72
<b>6. Conclusion .....</b>	<b>73</b>
<b>7. Références bibliographiques .....</b>	<b>75</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 - Progression du référentiel sur le territoire métropolitain et dans les DOM.....	10
Illustration 2 – Zone d'étude sur fond géologique (carte géologique au 1/1000 000) .....	12
Illustration 3 –Types d'entités hydrogéologiques.....	13
Illustration 4 : Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités .....	18
Illustration 5 - Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture.....	20
Illustration 6 – Construction d'une entité NV2 à partir des entités NV3 .....	20
Illustration 7 - Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage .....	21
Illustration 8 - Nature des contacts entre entités et limites hydrogéologiques correspondantes .....	23
Illustration 9 - Liste des systèmes aquifères et des domaines hydrogéologiques de niveaux NV1 et NV2 identifiés en année 1 du projet.....	26
Illustration 10 - Extraction des logs validés de la Banque de données du Sous-Sol pour la région Centre: exemple logs validés des Calcaires de Beauce .....	27
Illustration 11 - Base de données géologiques et entités hydrogéologiques associées .....	29
Illustration 12 – Exemple de correspondance entre formations géologiques de la carte géologique harmonisée et entités hydrogéologiques.....	30
Illustration 13 - Exemple de correspondance entre formations géologiques décrites dans les "logs" de forages validés et entités hydrogéologiques. ....	30
Illustration 14 - Autre exemple de correspondance entre formations géologiques décrites dans les "logs" de forages et entités hydrogéologiques. ....	31
Illustration 15 – Forages AEP de la Région Centre distingués par leur appartenance à une entité de niveau 2 .....	32
Illustration 16 – Entités hydrogéologiques du thème sédimentaire.....	33
Illustration 17 – Exemple d'entité limitée par des failles.....	35
Illustration 18 – Exemple des sables du Cénomaniens avec 4 entités NV3 distinguées par analyse des logs de forages.....	35
Illustration 19 – Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap.....	39
Illustration 20 – Tables non géométriques de la géodatabase.....	40
Illustration 21 – Menu général de la géodatabase .....	40
Illustration 22 - Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général.....	41
Illustration 23 - Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs).....	42
Illustration 24 – Exemple de sélection: entités de niveau 3 et d'ordre 1 .....	42
Illustration 25 - Table des limites. ....	43

Illustration 26 – Table des natures de contacts entre entités .....	43
Illustration 27 – Editeur de cartes du modèle de gestion du référentiel.....	44
Illustration 28 – Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche).....	45
Illustration 29 – Exemple de fiche descriptive (partie droite) d'une entité.....	46
Illustration 30 – Le Sénonien-Turonien en région Centre et région Pays-de-la-Loire .....	56
Illustration 31 – Schéma des unités du cénomanien et turonien avec leurs limites latérales et verticales .....	57
Illustration 32- Le Cénomani en région Centre et région Pays-de-la-Loire .....	59
Illustration 33 – Répartition des niveaux calcaires dans le Jurassique. ....	62
Illustration 34 - Répartition des faciès du Dogger dans le Bassin Parisien .....	65
Illustration 35 - Lithofaciès du Lias dans l'Indre et le Cher (Rapport BRGM/RP-51887-FR – 2002) .....	67
Illustration 36 – Log géologique synthétique avec les principales couches réservoirs dans le Bassin de Paris (extrait du rapport BRGM RP56463-FR).....	91

## Liste des annexes

Annexe 1- Tableau Multi-échelles.....	77
Annexe 2 – Aperçus géologiques .....	85
Annexe 3 - Lexique de caractérisation des entités .....	93
Annexe 4 - Le modèle de gestion du référentiel et la géodatabase des entités.....	99
Annexe 5 - Mode opératoire pour la délimitation des entités (logiciel ArcGis 9.31).....	117



# 1. Introduction

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

Le projet a été confié en 2006 au BRGM par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer. L'opération bénéficie d'un soutien financier des Agences de l'Eau, de l'ONEMA (2008-2009) et, antérieurement à 2008, du 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 (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 (Rapport BRGM RP-52261-FR, 2004);
- d'élaborer un modèle conceptuel de données pour l'élaboration de la future base de données du Référentiel.

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

## ***Caractéristiques de la version 2 du Référentiel BDLISA***

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

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

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

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

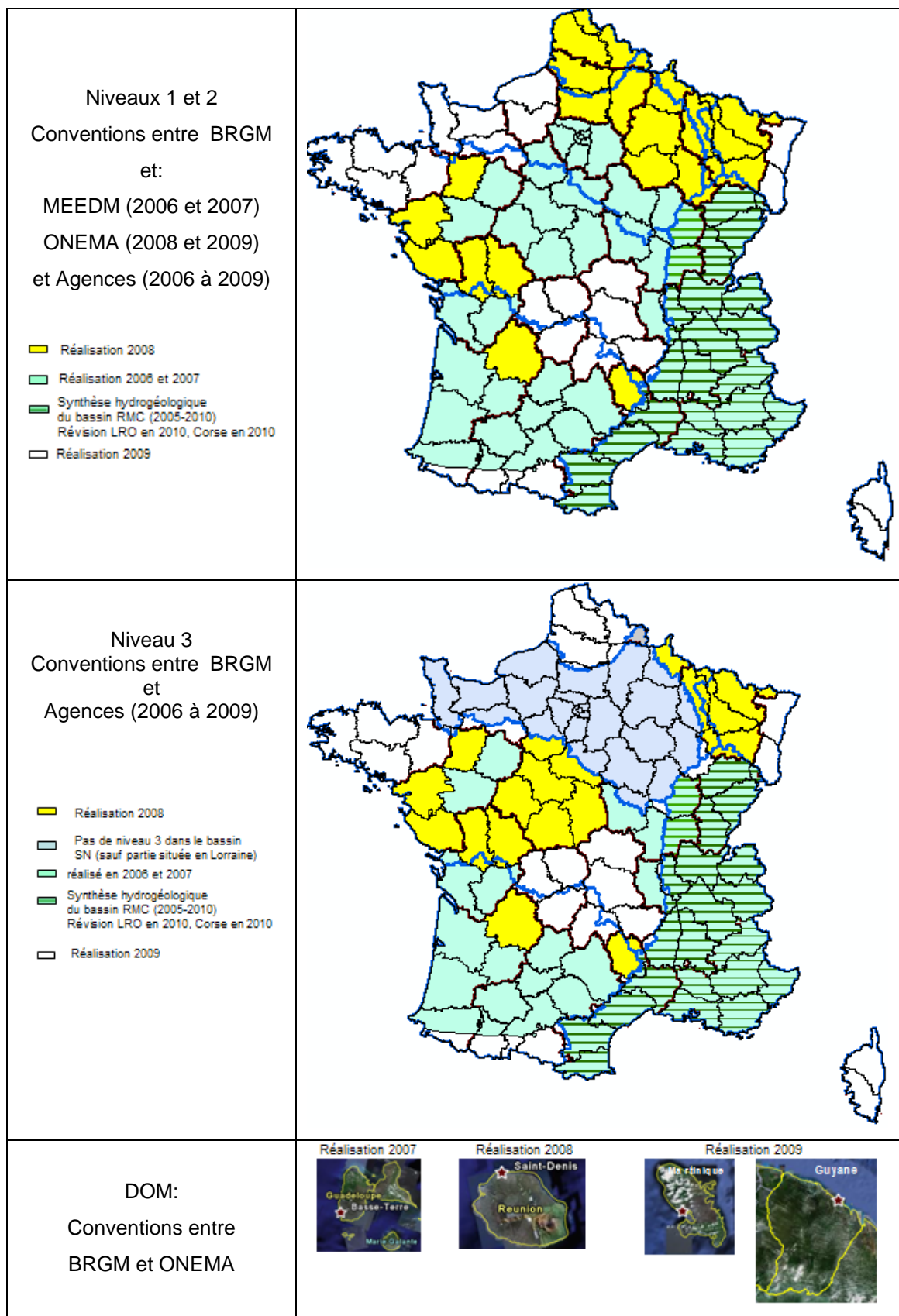


Illustration 1 - Progression du référentiel sur le territoire métropolitain et dans les DOM

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

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

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

### Le référentiel en Région Centre

En région Centre, la construction du référentiel a débuté par les niveaux 1 et 2 (2006-2007, année 1 du projet national). Elle s'est poursuivie en 2008-2009 (année 3 du projet national) par le niveau 3 dans le cadre d'une convention particulière entre le BRGM et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, avec un financement à parts égales.

Le présent rapport rend compte de la réalisation de ce niveau 3. Comme pour les niveaux 1 et 2, la zone d'étude (illustration 2) correspond à l'ensemble de la région Centre (dont une partie est située dans le bassin Seine-Normandie) mais aussi, pour assurer la continuité de quelques entités hydrogéologiques (Calcaires de Beauce, Sables de Fontainebleau, Marnes et Calcaires de l'Eocène moyen et inférieur), à la partie sud des départements de l'Essonne et des Yvelines de la région Ile-de-France (environ 1500 km<sup>2</sup>)

L'emprise de la zone d'étude représente une superficie totale d'environ 41 000 km<sup>2</sup> (dont 39 500 km<sup>2</sup> pour la région Centre).

Ce secteur comporte toute la série sédimentaire du Trias au Quaternaire, le Trias affleurant au sud de la région.

Le travail a été mené en concertation avec les régions voisines (Pays de Loire et Poitou-Charentes) engagées aussi sur la même période (année 3) dans la construction du référentiel. Il tient compte aussi bien sûr du travail réalisé en année 2 dans les régions Bourgogne et Île-de-France.

...

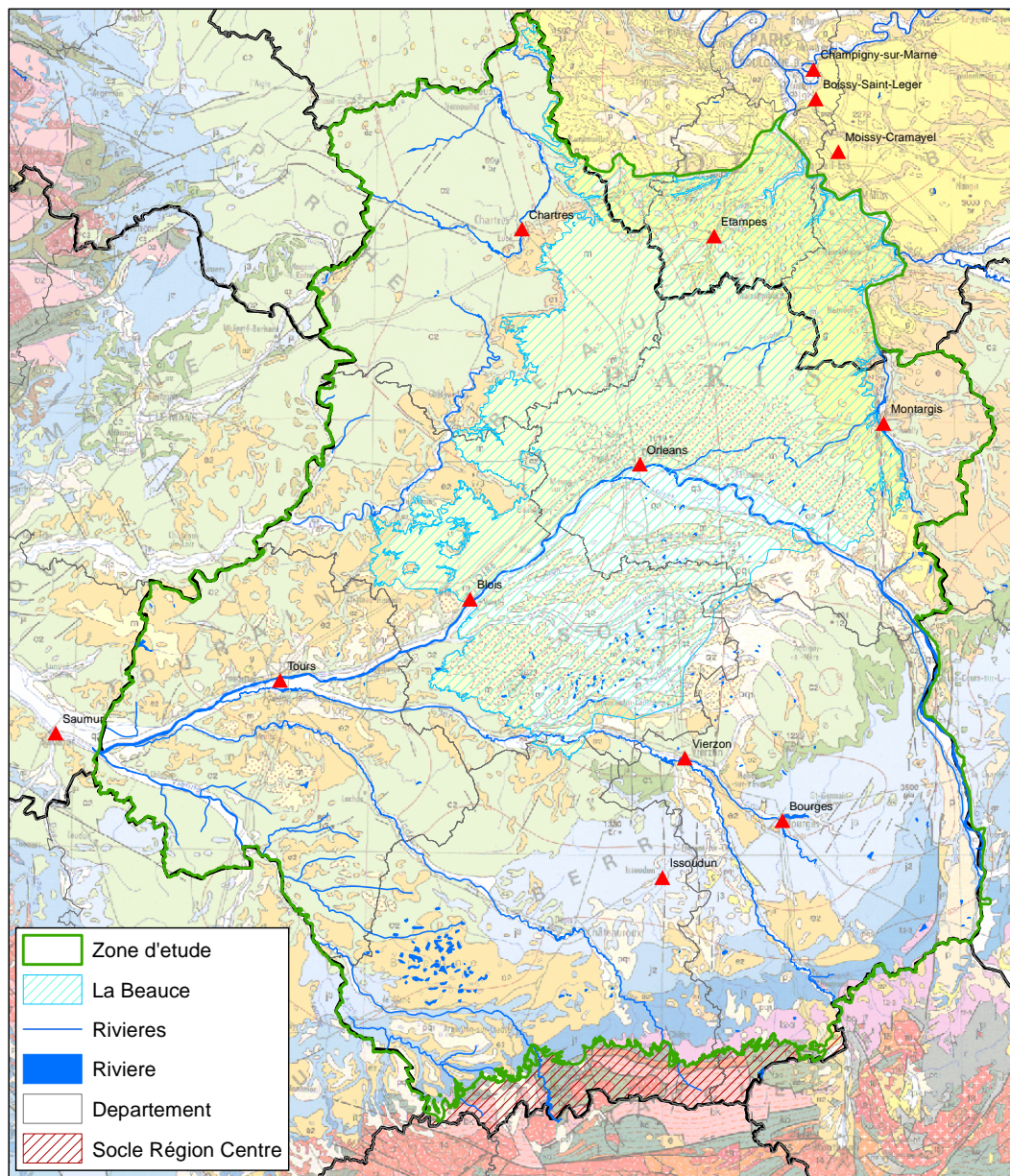


Illustration 2 – Zone d'étude sur fond géologique (carte géologique au 1/1000 000)

## 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 4), 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 peuvent être possible localement et périodiquement.

• **L'unité semi-perméable (NV3)**

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

• **L'unité imperméable (NV3)**

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

### 2.1.3. Les niveaux d'identification

Trois niveaux d'identification des entités hydrogéologiques ont été retenus dans ce nouveau référentiel. Ces niveaux d'utilisation reflètent les besoins très différents des futurs utilisateurs du référentiel. Ils ne définissent pas les échelles de numérisation (précision du contour, qui est le 1/50 000) mais correspondent à des échelles d'utilisation et de représentation de l'information (Ils correspondent aussi à des échelles de visualisation cartographiques différentes). Sont ainsi distingués:

- le **niveau national (NV1)** fournit une représentation nationale des grands ensembles hydrogéologiques (systèmes et domaines). Il met en évidence leur distribution spatiale et leur importance en tant que ressource quantitative. C'est le support d'études d'orientation à l'échelle nationale. La gamme d'échelle d'utilisation cartographique est comprise entre le 1/500 000 et le 1/1 000 000.
- Le **niveau régional (NV2)** permet une représentation régionale ou par bassin des entités hydrogéologiques (système et domaine) à une échelle de l'ordre du 1/250 000. Il doit permettre une qualification des systèmes aquifères au regard de leur importance en tant que ressource régionale, de leur vulnérabilité (à la sécheresse, aux pollutions).
- Le **niveau local (NV3)** correspond à la représentation la plus détaillée du référentiel, à une échelle de l'ordre du 1/50 000. Il identifie l'ensemble des entités connues, en s'appuyant sur les deux niveaux précédents et en les complétant, dans certaines zones, par l'identification des unités aquifères locales. Il constitue le support d'études ponctuelles permettant d'améliorer les connaissances hydrogéologiques (carte piézométrique, modélisation,...).

### 2.1.4. Codification et dénomination des entités

Un code, 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 4). Ce modèle conceptuel permet d'exploiter de façon optimale la base de données du référentiel sous ArcGis. La construction du référentiel est guidée par les 5 principes suivants.

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

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

Les "*Entités principales*" font l'objet d'un traitement topologique qui garantit la cohérence de leur assemblage 3D.

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

- systèmes alluvionnaires (transverses par rapport aux entités principales)
- formations superficielles, hétérogènes et morcelées,
- altérites cartographiées des zones de socle,
- aires karstifiées délimitées par des traçages, ....

2) **Ordonnancement vertical des entités en définissant un ordre de superposition.** Le modèle de gestion permet de passer d'un ordre dit absolu à un ordre dit relatif (§ 2.2.3 et illustration 4 ci-après).

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

4) **Filiation:** une entité NV3 est rattachée à une entité NV2 qui l'inclut et qui est elle-même rattachée et incluse dans une entité NV1

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

### 2.2.2. Organisation des entités en 2 ensembles

#### 1) *Entités principales*

Elles constituent l'essentiel du référentiel. Elles sont:

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

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

#### 2) *Entités complémentaires*

Elles constituent une "surcouche" du référentiel. Elles regroupent différents types d'entités qui sont telles qu'elles ne permettent pas de respecter l'homogénéité du référentiel ou qui constituent des cas particuliers difficilement intégrables dans le cadre général du référentiel:

- systèmes alluvionnaires (transverses par rapport aux entités principales)
- formations superficielles, hétérogènes et morcelées, peu épaisses et/ou de faible extension spatiale, qui sont relativement indépendantes, hydrodynamiquement, des formations sous-jacentes.
- altérites cartographiées des zones de socle,
- aires karstifiées délimitées par des 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 (illustration 4a). Cet ordre est dit "absolu" (codé par exemple sous la forme 10, 20, 30, 40,...) et peut correspondre à un âge stratigraphique.

La délimitation des entités conduit à une "pile hydro-stratigraphique" d'entités (le tableau multi-échelles) qui sont ordonnées sur la verticale grâce au numéro d'ordre absolu (illustration 4b).

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

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

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

## 2.3. PRINCIPES ET DÉMARCHE DE DÉLIMITATION

### 2.3.1. Principes de base du découpage

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

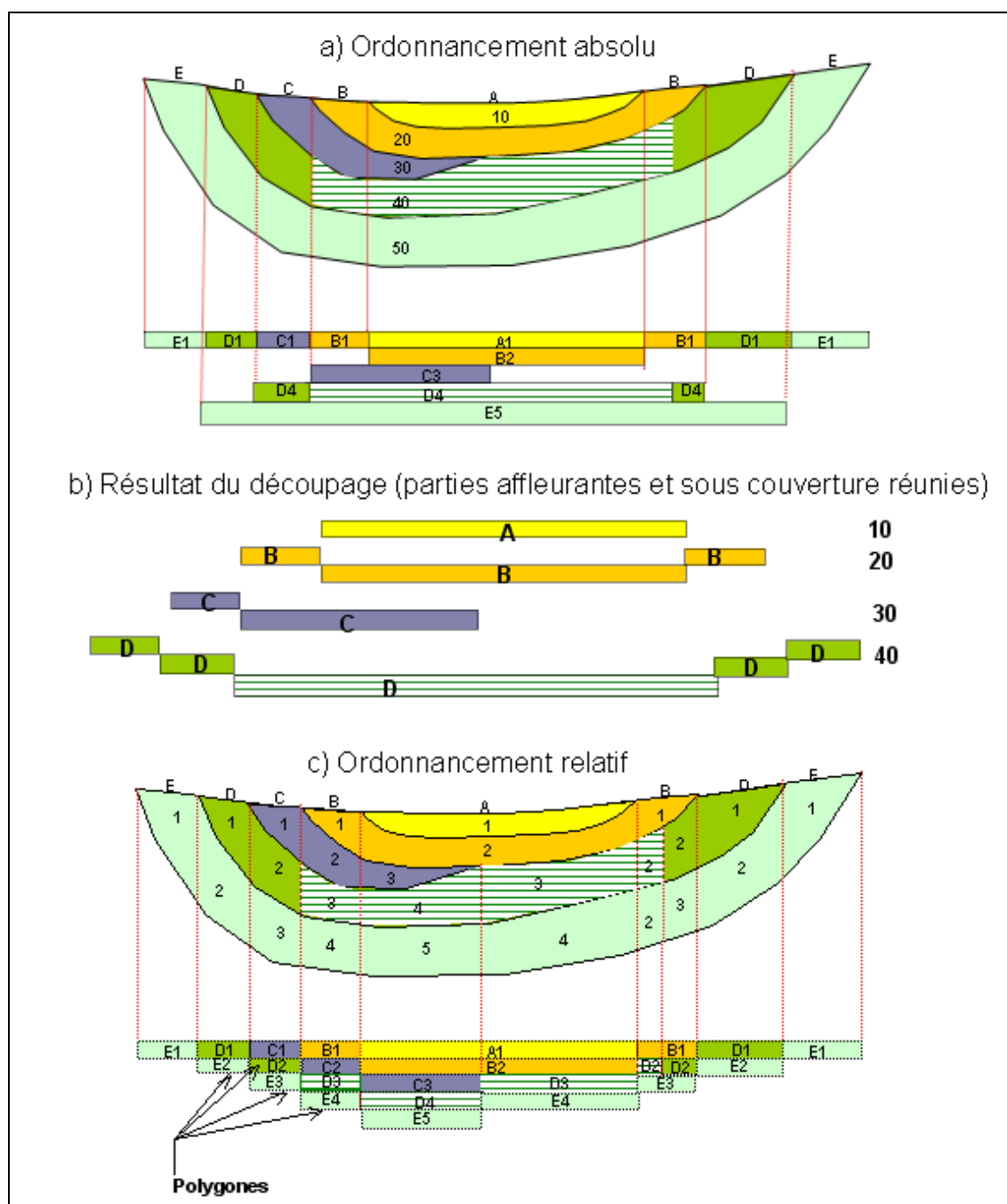


Illustration 4 : Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités

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

Les entités du niveau 1 résultent de l'assemblage de celles du niveau 2, ces dernières résultant elles-mêmes d'un regroupement des entités du niveau 3 (il peut néanmoins exister des cas où une entité de niveau 3 s'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 1/50000 et les formations géologiques mentionnées dans les logs de forage et d'autre part entre ces formations géologiques ainsi mises en relation (cartes et logs) et les entités hydrogéologiques.

#### **• Individualisation de l'alluvial**

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

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

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

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

• **Découpage des entités du sédimentaire**

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

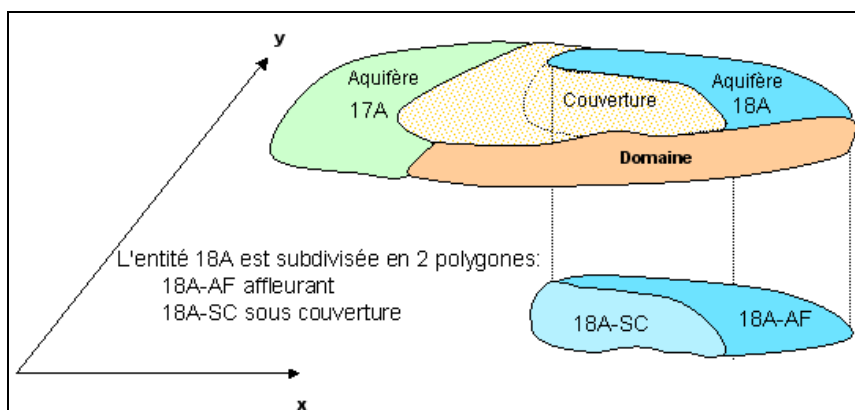


Illustration 5 - Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture

La séparation en entités différentes (partie affleurante et partie sous couverture) ne sera réalisée que si les conditions le justifient : différence marquée de fonctionnement ou de qualité chimique, surfaces affleurantes et sous couverture à peu près équivalentes.

Les limites entre systèmes aquifères sont les crêtes piézométriques et non les cours d'eau (contrairement aux délimitations de la BDRHF-V1).

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

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

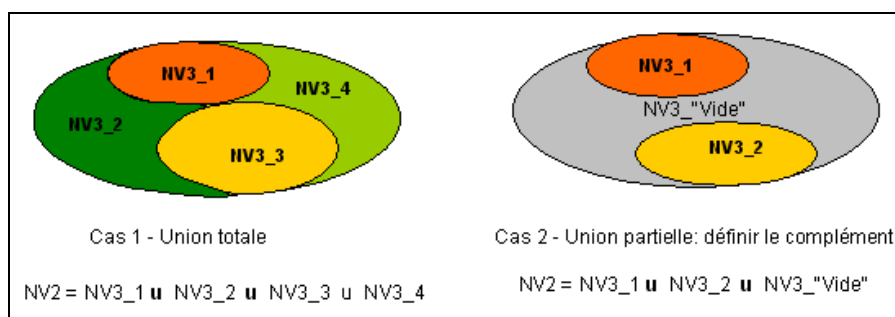


Illustration 6 – Construction d'une entité NV2 à partir des entités NV3

### 2.3.4. Vérification de la topologie

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

Ce modèle est présenté en détail en annexe 4. Entre autres possibilités, il permet de passer automatiquement d'un ordonnancement absolu des entités (correspondant à l'ordre dans lequel toutes les entités identifiées se succèdent sur la verticale, en général un ordre correspondant à un âge stratigraphique) à un ordonnancement relatif, qui est celui de la représentation des entités dans le SIG et qui correspond à l'ordre réel de superposition des entités dans une coupe verticale qui pourrait être réalisée dans le référentiel (illustration 4 ci-dessus).

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

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

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

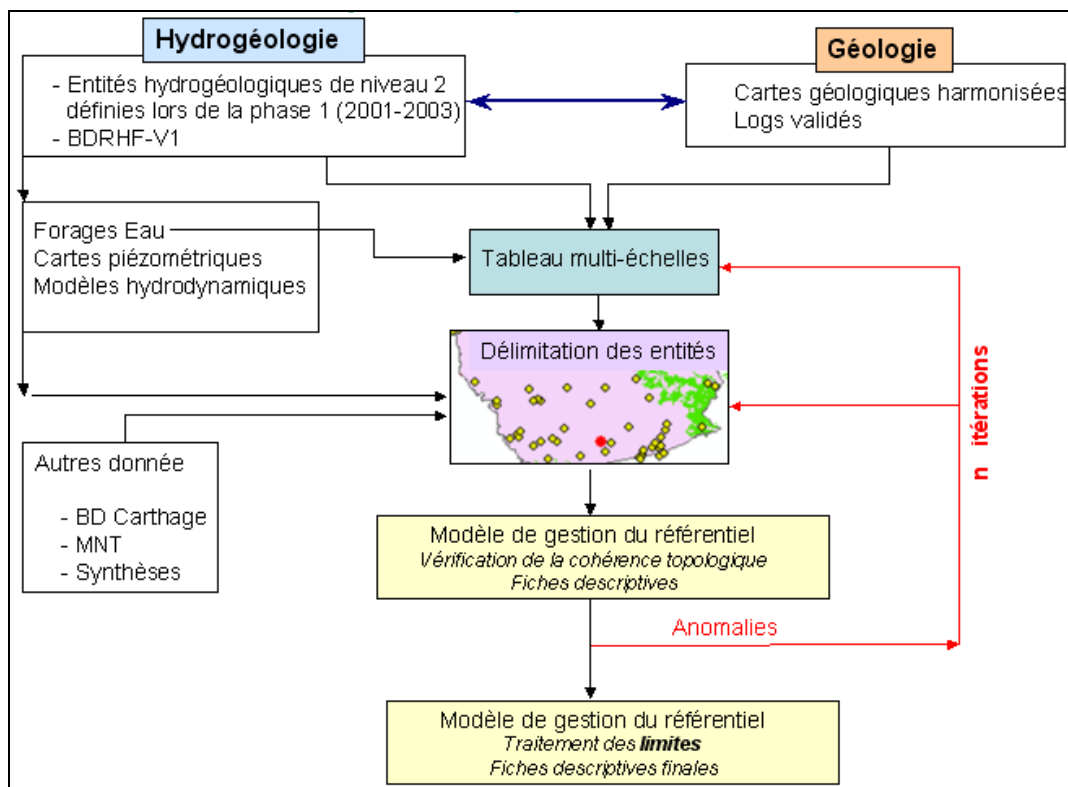


Illustration 7 - Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage

## 2.4. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS ET DES LIMITES

### 2.4.1. Caractérisation des entités

Dans le référentiel une entité est caractérisée (actuellement) par les attributs suivants (cf. annexe 3):

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

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

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

### 2.4.2. Caractérisation des limites

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

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

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

La recherche de la nature des contacts peut en effet se faire automatiquement à l'aide du modèle de gestion à partir de la table des polygones élémentaires de niveau 3 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 B) 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 4 (§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 " <b>Limite de recouvrement</b> " (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 année 1 du projet national, ont été identifiées en région Centre les entités suivantes (tableau de l'illustration 9 et rapport BRGM RP-56055-FR):

- 12 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1)
- 32 entités de niveau régional NV2 dont 17 systèmes aquifères et 15 domaines

Cette phase de la construction du référentiel au niveau 3 s'appuie bien sûr sur ce travail mais il a fallu néanmoins reprendre toutes les étapes de la construction faite au niveau 2, étapes détaillées dans ce qui suit.

Remarque: les zones de socle présentes à l'extrémité Sud de la région Centre (environ 1000 km<sup>2</sup>) ont été traitées lors du travail de construction du référentiel de la région Limousin et seront intégrées dans le référentiel de cette région.

### 3.1. BASE DE DONNÉES

#### 3.1.1. Données de référence

Les données et documents utilisés pour mettre en œuvre le découpage sont:

- la cartes géologique harmonisée de la région Centre au 1/50 000 et celle de la région voisine Île-de-France à la même échelle;
- les cartes géologiques au 1/50 000 en format raster (scans géoréférencés);
- les notices des cartes géologiques au 1/50000 (format PDF) ;
- la carte géologique 1/1000 000 de la France;
- les "logs" des forages validés du secteur d'étude extraits de la Banque de données du Sous-sol (BSS): 14 000 logs ont été extraits (illustration 10).
- les contours des entités délimitées au niveau 2 en année 1 du projet;
- les bases de données des AEP de la région Centre;
- le modèle numérique de terrain de la zone traitée;
- les informations collectées dans différents travaux, notamment géophysiques et pétroliers, dont les plus importants sont mentionnés en référence bibliographique.

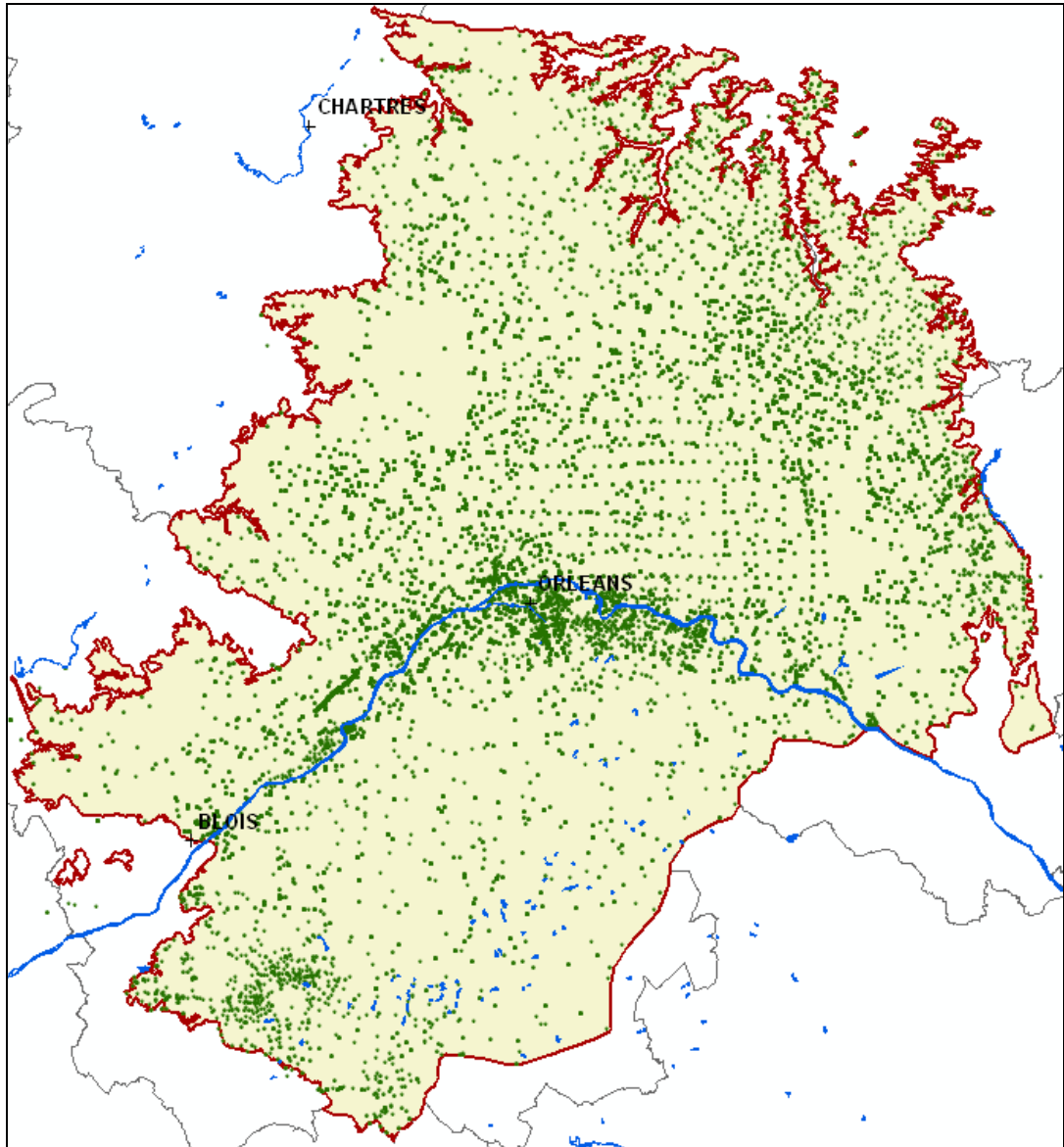
#### 3.1.2. Constitution d'une base de données géologiques (ArcGis)

Il s'agit d'une étape indispensable, non seulement comme complément de la base des entités, mais aussi comme outil de travail facilitant les multiples croisements d'informations et les extractions de données nécessaires à la délimitation des entités.

Cette base de données comprend les logs de forages extraits de la BSS et les cartes géologiques harmonisées (régions Centre et IDF). A chaque forage est associé un "log" avec, entre autres informations, un descriptif des horizons géologiques traversés.

Code NIV1	Code NIV2	Age	Nom de l'entité de niveau 2	Nature entité NV2
F2	F2A	Mio-Pliocène	Sables et argiles du Bourbonnais	Domaine
F2	F2B	Mio-Pliocène	Faluns de Touraine et d'Anjou	Domaine
F2	F2C	Mio-Pliocène	Formations de Sologne	Domaine
F3	F3C	Oligo-Mioène	Calcaires de Beauce	Système aquifère
F3	F3D	Oligo-Mioène	Calcaires de Touraine	Système aquifère
F3	F3A	Oligo-Mioène	Sables de Fontainebleau	Système aquifère
F3	F3F	Oligocène-Eocène	Marnes vertes et supra-gypseuses Eocène (Sannoisien-Ludien)	Domaine
F4	F4C	Eocène	Calcaires du Berry	Système aquifère
F4	F4D	Eocène	Calcaires d'Anjou	Système aquifère
F4	F4E	Eocène	Calcaires de Saint-Ouen, sables de Monceau	Système aquifère
F4	F4F	Eocène	Sidérolithique et formations de Brenne Substrat Eocène	Domaine
F4	F4G	Eocène	Marnes et calcaires de l'Eocène moyen et inférieur	Système aquifère
F5	F5B	Paléocène	Argile à Silex	Domaine
F6	F6U	Crétacé supérieur	Craie séno-turonienne	Système aquifère
F6	F6X	Crétacé supérieur	Marnes à Ostracées cénomaniennes	Domaine
F7	F7A	Crétacé supérieur	Sable du Cénomaniens (Perche-Vierzon)	Système aquifère
F7	F7C	Crétacé supérieur	Craie du Cénomaniens	Domaine
F7	F7D	Crétacé supérieur	Argiles du Gault, marnes et gaizes du Cénomaniens inférieur	Domaine
F8	F8HIM	Crétacé inférieur	Sables de l'Albien	Système aquifère
F8	F8JKN	Crétacé inférieur	Argiles de l'Aptien-Barrémien	Domaine
F8	F8O	Crétacé inférieur	Sables du Néocomien	Système aquifère
F9	F9KL	Jurassique sup.	Calcaires tithoniens (Portlandien)	Système aquifère
F9	F9M	Jurassique sup.	Marnes du Kimmériidgien	Domaine
F10	F10F	Jurassique sup.	Calcaires du Kimmeridgien inférieur et de l'Oxfordien	Système aquifère
F10	F10G	Jurassique moyen	Marnes callovo-oxfordiennes	Domaine
F11	F11KLMOR	Jurassique moyen	Calcaires du Dogger (Bathonien - Callovien)	Système aquifère
F11	F11S	Jurassique moyen	Marnes du Dogger (Bajocien)	Domaine
F11	F11T	Jurassique moyen	Calcaires du Dogger (Aalénien - Bajocien) - partie Nord	Système aquifère
F12	F12A	Jurassique inf.	Marnes du Lias supérieur	Domaine
F12	F12B	Jurassique inf.	Calcaires argileux et grès du Lias inférieur	Domaine
F13	F13	Trias	Argiles et grès du Keuper	Domaine
F15	F15B	Trias	Sables et grès du Trias moyen à supérieur (sud)	Système aquifère

Illustration 9 - Liste des systèmes aquifères et des domaines hydrogéologiques de niveaux NV1 et NV2 identifiés en année 1 du projet



*Illustration 10 - Extraction des logs validés de la Banque de données du Sous-Sol pour la région Centre: exemple logs validés des Calcaires de Beauce*

Au fur et à mesure de l'avancement de l'analyse géologique (§ 3.2 ci-après), une correspondance est établie entre entités hydrogéologiques de niveau 3 et formations géologiques (celles décrites dans les logs et celles des cartes harmonisées). A chaque forage on peut donc rattacher une entité hydrogéologique (ou plusieurs si le forage en rencontre plusieurs).

Une requête par l'intermédiaire du "code entité", permet donc de visualiser, avant délimitation proprement dite de l'entité, son extension, parties affleurantes et sous couvertures (dans la limite bien sûr du nombre de forages disponibles qui, s'ils sont peu nombreux, rend incertain le tracé des limites de l'entité en profondeur).

Cette base de données peut être aisément mise à jour, facilitant ainsi les retouches éventuelles de contours.

L'illustration 11 fournit 2 images de cette base.

### 3.2. ÉLABORATION DU TABLEAU MULTI-ÉCHELLES

Le tableau multi-échelles de niveau 3 a été élaboré à partir de l'inventaire des formations identifiées dans les cartes géologiques au 1/50 000 harmonisées et des sources d'informations listées ci-dessus (§ 3.1), en particulier les logs géologiques validés et les cartes harmonisées.

La construction de ce tableau est décrite de façon séquentielle ci-après, mais elle est largement itérative et plusieurs versions se succèdent durant la phase de délimitation des entités.

Le premier travail a consisté à établir une correspondance entre entités hydrogéologiques et formations géologiques.

Cette correspondance est réalisée en 2 étapes :

1) Dans une première étape, établissement de la correspondance stricte entre les entités hydrogéologiques de niveau régional et les formations géologiques régionales de la carte harmonisée.

Une entité hydrogéologique de niveau régional peut être rattachée à une ou plusieurs formations géologiques cartographiées.

2) Dans une deuxième étape, établissement de la correspondance entre les entités hydrogéologiques de niveau régional et les formations géologiques locales traversées en forages.

La difficulté de ces deux étapes est de parvenir à une correspondance stricte, éliminant par exemple les cas où une formation géologique locale se partage entre deux entités hydrogéologiques.

#### 3.2.1. Etape 1: utilisation des cartes géologiques harmonisées

Dans la zone d'étude (Centre et Sud Île-de-France), les cartes harmonisées permettent d'identifier **196 formations géologiques** allant du Quaternaire au Trias. Les formations les plus anciennes affleurent au sud de la région, marquant la limite du Bassin de Paris.

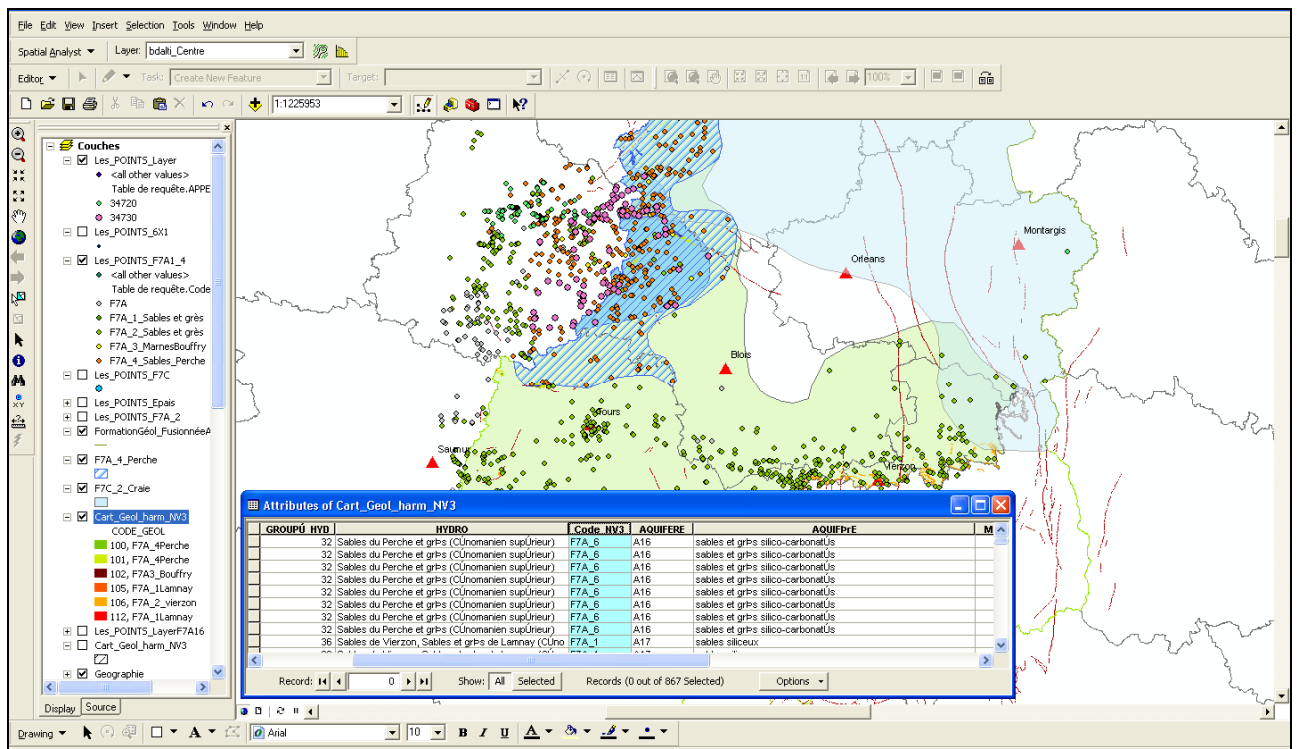
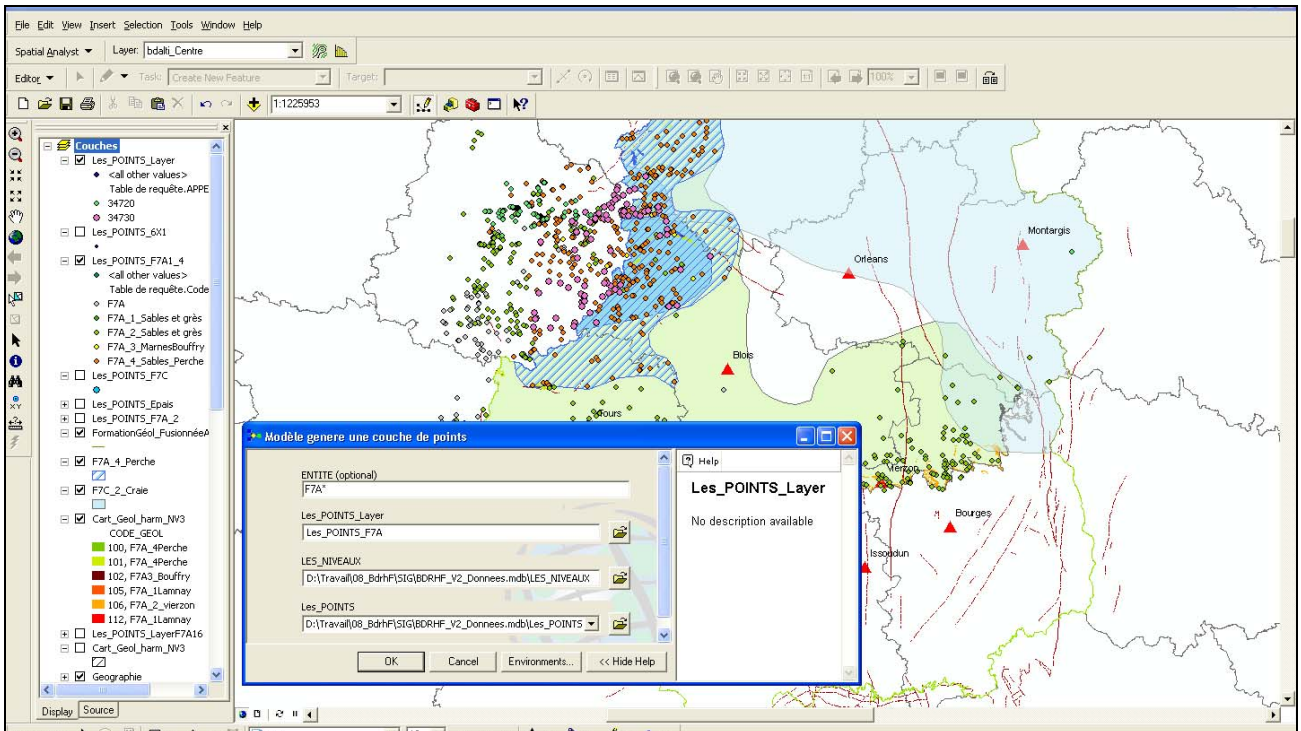


Illustration 11 - Base de données géologiques et entités hydrogéologiques associées

Le tableau de l'illustration 12 fournit un exemple de 2 entités hydrogéologiques de niveau 3, différenciées au sein d'une même formation géologique de la carte à l'aide des logs de forages.

Formations de la carte géologique harmonisée		Entités hydrogéologiques	
CODE GEOL	NOM	Code NV3	NOM
j6MS-D	Calcaires fins et Marnes (Kimméridgien à Tithonien)	F10D_1	Calcaires et Marnes du Kimméridgien
		F10D_2	Marnes et Calcaires du Kimméridgien

*Illustration 12 – Exemple de correspondance entre formations géologiques de la carte géologique harmonisée et entités hydrogéologiques.*

### 3.2.2. Etape 2: utilisation des logs géologiques

Dans une deuxième étape, on recherche une correspondance entre les formations géologiques locales (traversées en forages) et celles cartographiées dans les cartes géologiques harmonisées.

Le nombre de forages utilisé est de 14000 totalisant, dans la zone d'étude, 108000 "passes" géologiques décrivant **280 horizons géologiques** (appellations locales).

Ces formations géologiques ont été ensuite regroupées stratigraphiquement et rattachées à des entités hydrogéologiques:

- soit par connexion horizontale, plusieurs appellations locales renvoyant en fait à la même formation géologique régionale (illustration 13);
- soit par connexion verticale, par exemple dans le cas d'intercalations de plusieurs niveaux de sables et d'argiles (exemple des Sables et Argiles de Sologne), ou bien dans le cas d'une continuité hydraulique entre 2 formations.

Les illustrations 13 et 14 fournissent un exemple de correspondance entre entités hydrogéologiques et formations géologiques décrites dans les "logs" de forages.

Formations géologiques traversées par les forages validés		Unités hydrogéologiques	
CODE	NOM	CODE	NOM
35410	Graviers à Opis (hugardiana, glareosa)	F8HIM_3	Sables de la Puisaye, de Frécambault et des Drillons
35480	Sables et grès de Frécambault		
35440	Grès et sables des Drillons		
35300	Sables de la Puisaye		

*Illustration 13 - Exemple de correspondance entre formations géologiques décrites dans les "logs" de forages validés et entités hydrogéologiques.*

Nom de l'entité hydrogéologique NV3	code NV3	code géologique	Formations géologiques traversées par les forages	Nombre de forages traversant la formation	Mise en relation avec formations géologiques de la carte harmonisée
Calcaire de Saint-Ouen	F4E_2	22540	Calcaire de Noisy-le-sec	24	[DESCRIPTIO] LIKE 'Calcaires et marnes de Saint-Ouen (Marinésien). Calcaires marins, saumâtres ou lacustres, Sables et grès de Beauchamp, Sépiolite inférieure (Auversien)'
Calcaire de Saint-Ouen	F4E_2	22590	Sables du Marinésien	5	[DESCRIPTIO] LIKE 'Calcaires et marnes de Saint-Ouen (Marinésien). Calcaires marins, saumâtres ou lacustres, Sables et grès de Beauchamp, Sépiolite inférieure (Auversien)'
Calcaire de Saint-Ouen	F4E_2	22680	Calcaire de Saint-Ouen	3343	[DESCRIPTIO] LIKE 'Calcaires et marnes de Saint-Ouen (Marinésien). Calcaires marins, saumâtres ou lacustres, Sables et grès de Beauchamp, Sépiolite inférieure (Auversien)'
Calcaire de Saint-Ouen	F4E_2	22678	Calcaire marnoux de Saint-Ouen	7	[DESCRIPTIO] LIKE 'Calcaires et marnes de Saint-Ouen (Marinésien). Calcaires marins, saumâtres ou lacustres, Sables et grès de Beauchamp, Sépiolite inférieure (Auversien)'
Calcaire de Saint-Ouen	F4E_2	22651	Marnes de Saint-Ouen	47	[DESCRIPTIO] LIKE 'Calcaires et marnes de Saint-Ouen (Marinésien). Calcaires marins, saumâtres ou lacustres, Sables et grès de Beauchamp, Sépiolite inférieure (Auversien)'

Illustration 14 - Autre exemple de correspondance entre formations géologiques décrites dans les "logs" de forages et entités hydrogéologiques.

### 3.2.3. Utilisation des forages AEP

Les informations fournies par les forages AEP ont permis notamment de préciser la nature aquifère de certaines entités. Plus de 600 ouvrages ont été extraits de la base de données (illustration 15) et analysés.

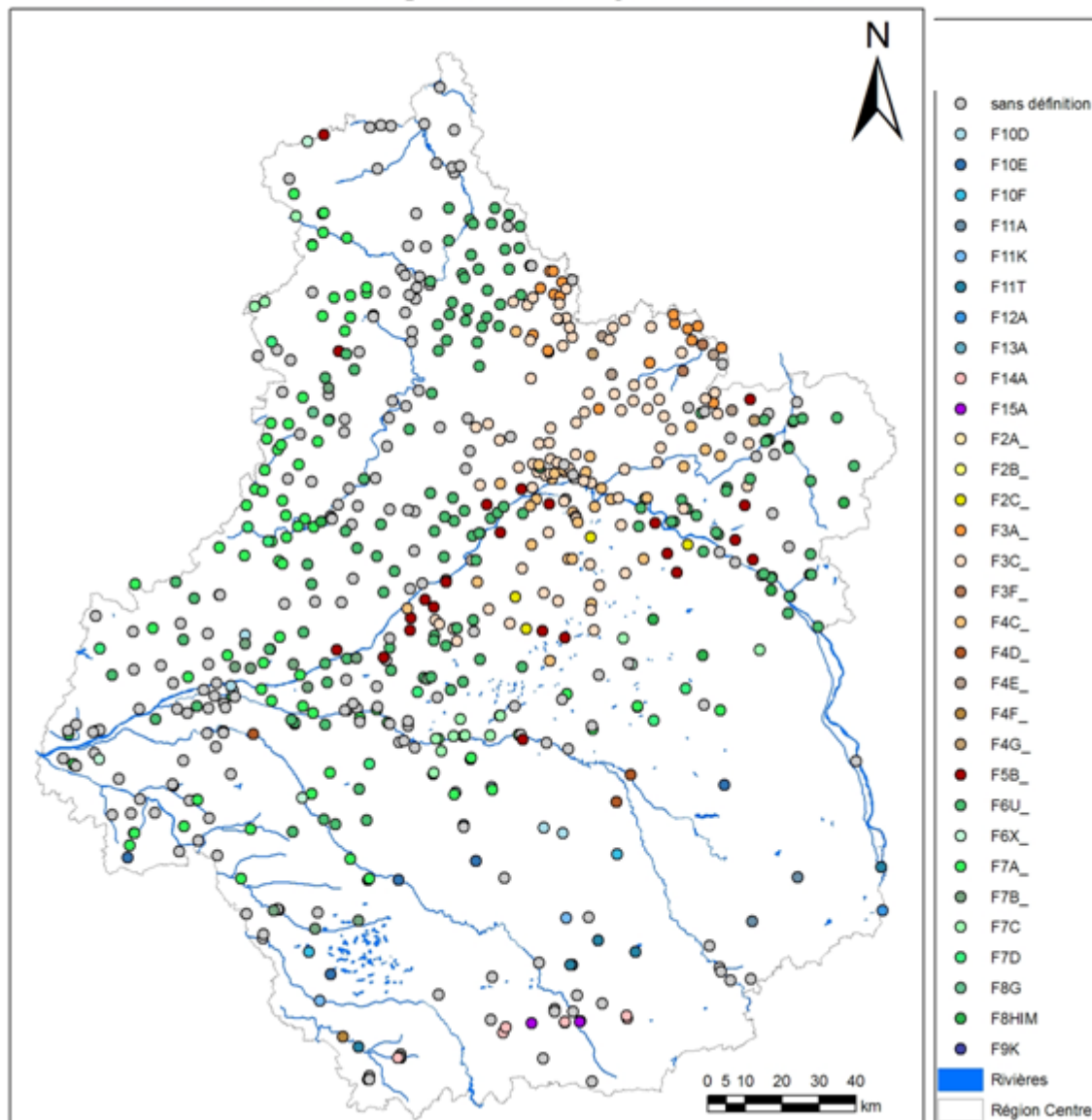


Illustration 15 – Forages AEP de la Région Centre distingués par leur appartenance à une entité de niveau 2

### 3.2.4. Le tableau multi-échelles

Les étapes décrites ci-dessus ont permis d'identifier et de caractériser **70 unités de niveau local (NV3)**, se répartissant en:

- 33 unités aquifères,
- 17 unités semi-perméables,
- 20 unités imperméables.

Ces unités ont été regroupées en **34 systèmes ou domaines de niveau régional (NV2)**, elles mêmes regroupées en **14 grands systèmes ou grands domaines de niveau national (NV1)**.

L'illustration 16 résume cette hiérarchie.

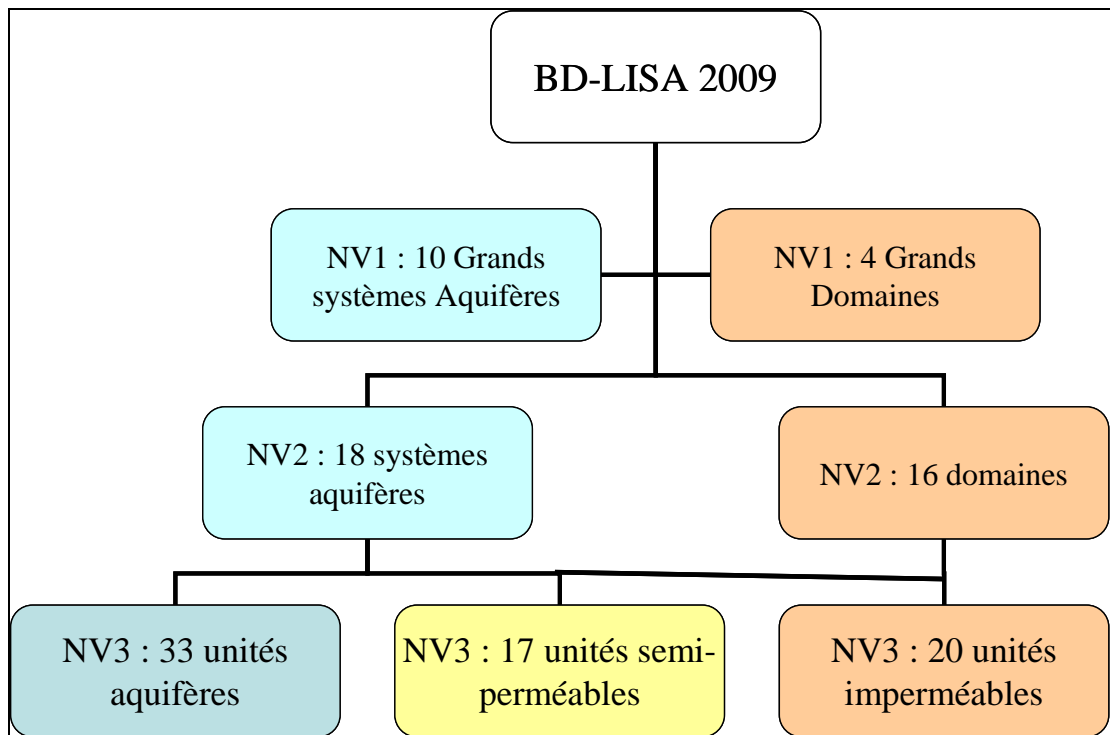


Illustration 16 – Entités hydrogéologiques du thème sédimentaire

A ces entités ont été ajoutées dans le "niveau thématique" (cf. § 2.2.3) 9 autres entités (se reporter au § 5.5 pour leur description):

- 7 secteurs alluvionnaires distingués comme unités aquifères, compte tenu de leur importance en tant que réservoirs productifs,
- 4 systèmes alluvionnaires,
- les aires karstifiées de la vallée de la Loire,
- une zone d'argile à silex intéressante au plan aquifère.

Le tableau multi-échelles établi pour les formations sédimentaires de la région Centre est reporté en annexe 1. Il intègre les 3 niveaux d'identification (NV1, NV2 et NV3).

La caractérisation de l'entité (type de porosité en particulier) a parfois nécessité une simplification, les caractéristiques de l'entité variant spatialement. Par exemple:

- une formation calcaire peut présenter un caractère karstique avec circulations préférentielles dans des zones affleurantes ou sub-affleurantes et devenir pratiquement compacte en profondeur;
- le rattachement à un seul type de milieu, fissuré ou poreux, n'est pas toujours possible, un grand nombre d'entités de niveau 3 et surtout d'entités de niveau 2 étant composites (par exemple autant de marnes/sables que de calcaires ou de craie). Pour les entités où ces deux types de porosité existent l'introduction du type "double porosité" (porosité matricielle et porosité de fissures) permet de mieux préciser.

D'une façon générale, l'information est portée par les entités de niveau 3. Elle n'est reconduite au niveau 2 que si l'entité NV2 issue du regroupement d'entités NV3 n'est pas trop hétérogène (ce qui est rarement le cas).

### **3.3. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS DU THÈME SÉDIMENTAIRE**

#### **3.3.1. Construction des entités**

Ce travail a été effectué en utilisant le mode "Editeur" du logiciel ArcGis. Un mode opératoire est fourni en annexe 5.

##### Parties affleurantes

Pour chaque entité hydrogéologique, les polygones correspondant aux formations affleurantes ont été extraits de la carte géologique harmonisée. Les limites d'affleurements de l'entité sont ensuite tracées à partir des contours des polygones affleurants, contours préalablement sélectionnés puis extraits (superficie > 0.5 km<sup>2</sup>).

Le tracé des limites d'affleurements est une opération qui peut être longue compte tenu du morcellement des polygones, des discontinuités et des placages superficiels masquant la formation. Le contour a souvent été précisé en s'aidant de la topographie (pour les couches considérées comme sub-horizontales) et des logs validés lorsqu'ils existaient.

Les contours ainsi construits pour les parties affleurantes ont toujours été vérifiés en les positionnant par rapport aux affleurements des formations plus anciennes (pour ne pas obtenir un croisement des couches).

Ces couches sont entrecoupées par de nombreux bras de rivières et leurs alluvions. Un travail manuel important a dû être réalisé pour ôter de tels recouvrements et "fermer" les polygones des entités sous-jacentes.

##### 1) Parties sous couvertures

La délimitation se fait dans la couche SIG des parties affleurantes délimitées comme indiqué ci-dessus. Le tracé des limites se fait à partir:

- du report des forages ou sondages ayant traversé, totalement ou partiellement les formations géologiques constitutives de l'entité hydrogéologique concernée;
- du positionnement des affleurements de formations plus anciennes que celle étudiée et des forages des formations plus anciennes;
- des informations provenant d'études sectorielles;
- des cartes numérisées précisant les limites d'extention des paléo-mers.

Certaines entités ont pu être délimitées par des failles comme la limite ouest des Sables du Néocomien (F8O\_2, illustration 17):

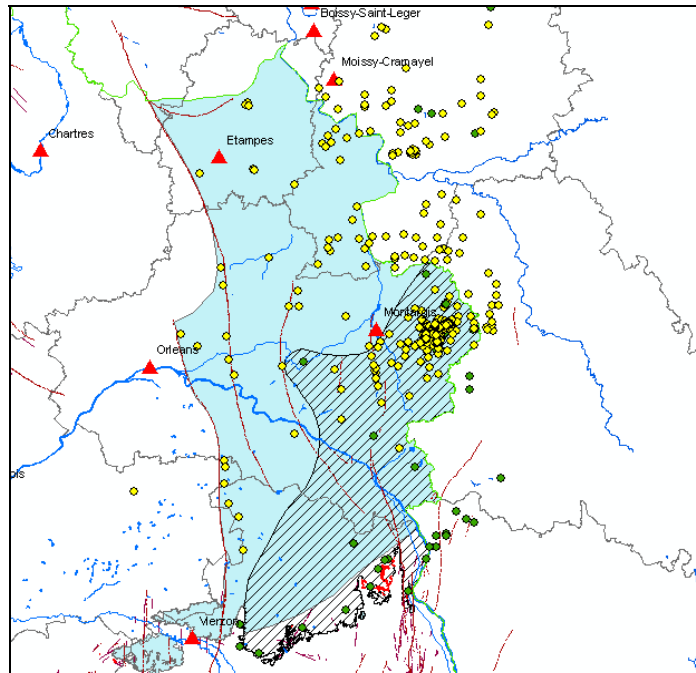


Illustration 17 – Exemple d'entité limitée par des failles

## 2) Polygone global de l'entité

Le polygone global de l'entité est obtenu en fusionnant les limites d'affleurements et les limites sous couvertures (illustration 18).

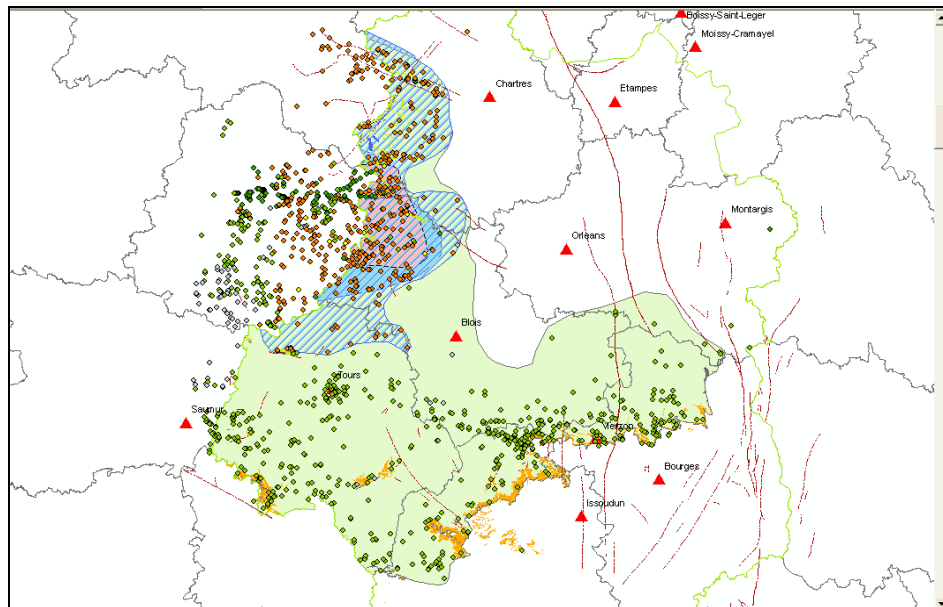


Illustration 18 – Exemple des sables du Cénomaniens avec 4 entités NV3 distinguées par analyse des logs de forages (points de différentes couleurs pour chaque entité, affleurements (en orange))

## Remarques

- 1) L'analyse des logs de forages ne permet pas toujours de faire une délimitation précise en raison de variations progressives de faciès (cf § 3.3.2); la frontière entre entités contiguës est parfois difficile à positionner.
- 2) La délimitation sous couverture peut aussi être imprécise par manque de logs validés.

### **3.3.2. Principales sources de difficultés**

#### **• Les variations de faciès**

La région Centre se situe en bordure Sud du Bassin Parisien, et sa géologie a été autant influencée par les apports sédimentaires venant des anciens massifs que par les sédimentations d'origine marine. Les nombreux cycles de transgression et de régression parfois associés à des déformations tectoniques confèrent une relative complexité à certaines formations caractérisées par de nombreux changements de faciès (calcaire, craie, marnes ....).

Les craies sont a priori relativement perméables à proximité de la surface (double porosité), mais souvent il s'agit plutôt de marnes crayeuses, semi-perméables à imperméables. Pour mieux caractériser ces entités, une analyse plus poussée a dû alors être faite, montrant des variations importantes de faciès, latérales et/ou verticales.

#### **• Dénomination des formations géologiques**

Les noms attribués aux formations peuvent parfois prêter à confusion, notamment pour les craies.

Dans les logs de forages, des appellations (ou descriptions) distinctes renvoient souvent à une seule et même formation géologique spatialement continue (regroupements opérés d'après les études existantes et les coupes géologiques).

#### **• Regroupement d'entités géologiquement différenciées, mais hydrauliquement connectées**

Certaines formations différenciables au plan géologique, ont été regroupées verticalement (multicouches) ou latéralement, la distinction n'étant plus pertinente sur le plan hydrodynamique (continuité hydraulique).

#### **• Délimitation en présence d'un changement progressif de la lithologie**

Certaines formations montrent une variation progressive de leur lithologie et de perméables deviennent progressivement imperméables. Pour respecter notamment les classes de perméabilité, le positionnement d'une limite franche n'a pas toujours été évident. Par exemple, les Sables et Argiles d'Orléans montrent des zones plus ou moins argileuses et des zones plutôt sableuses et donc a priori aquifères mais leur délimitation n'a pas été possible.

#### **• Délimitation sous couverture, notamment à proximité de la surface.**

La cartographie des limites a souvent été rendue complexe par l'existence de nombreux placages superficiels (alluvions, limons); cela a nécessité une réflexion sur l'existence d'une "paléo-surface". Pour les formations proches de la surface, lorsque cela était possible (nombreux points de repères) une surface subhorizontale a été restituée en s'aidant de la topographie.

Pour les couches plus profondes, quand les forages étaient rares, seules les cartes montrant l'extension des paléo-mers ont permis de tracer une limite (sans considération de possibles lacunes par des "paléo-érosions").

- **Délimitation des entités sous les systèmes alluvionnaires.**

Un grand nombre d'affleurements des entités, sur les cartes géologiques harmonisées, sont entrecoupés par les systèmes alluvionnaires. Pour restituer les parties manquantes des entités sous ces formations de recouvrement, un long travail de comblement des "vides", laissés suite à leur extraction des cartes géologiques, a été nécessaire, pas toujours automatisable.

...



## 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 4. Elle contient 3 "Jeux de classes d'entités" (dans le langage ArcGis), appelées (illustration 19):

- "GEOMETRIE",
- "ENTITES COMPLEMENTAIRES"
- "SYSTEMES ALLUVIONNAIRES"

Dans " GEOMETRIE", on trouve la table des polygones représentant les entités (**RHF\_Polygones\_relatifs** et la table des polygones (RHF\_Limites) représentant les limites des entités d'ordre 1 (illustration19).

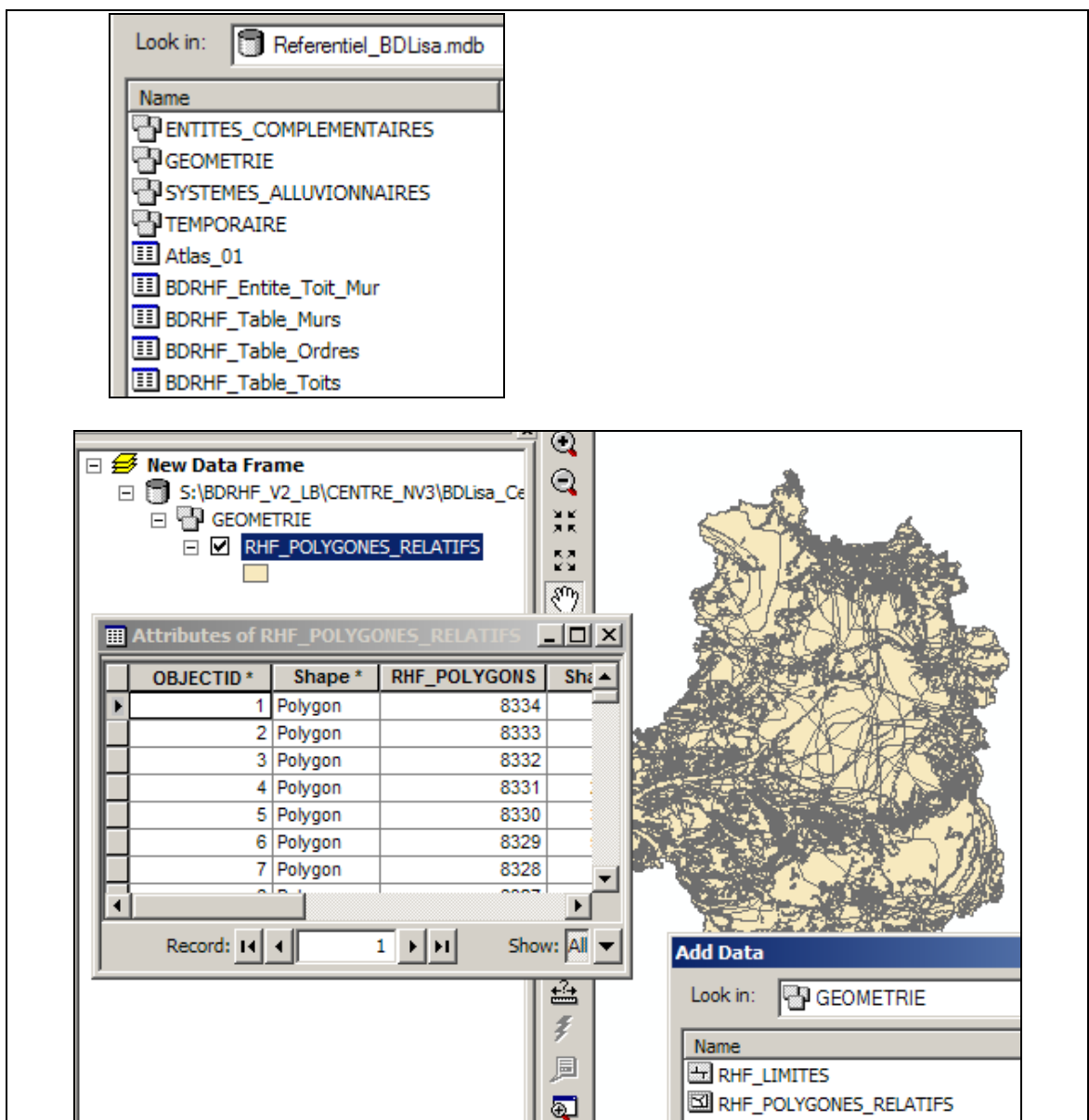


Illustration 19 – Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap

La géodatabase contient aussi d'autres tables, sans géométrie associée (BDRHF\_Table\_Murs, BDRHF\_Table\_Toits, BDRHF\_Table\_Ordres,...illustration 20). Ces tables sont décrites en annexe 4.

	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 20 – 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 21).

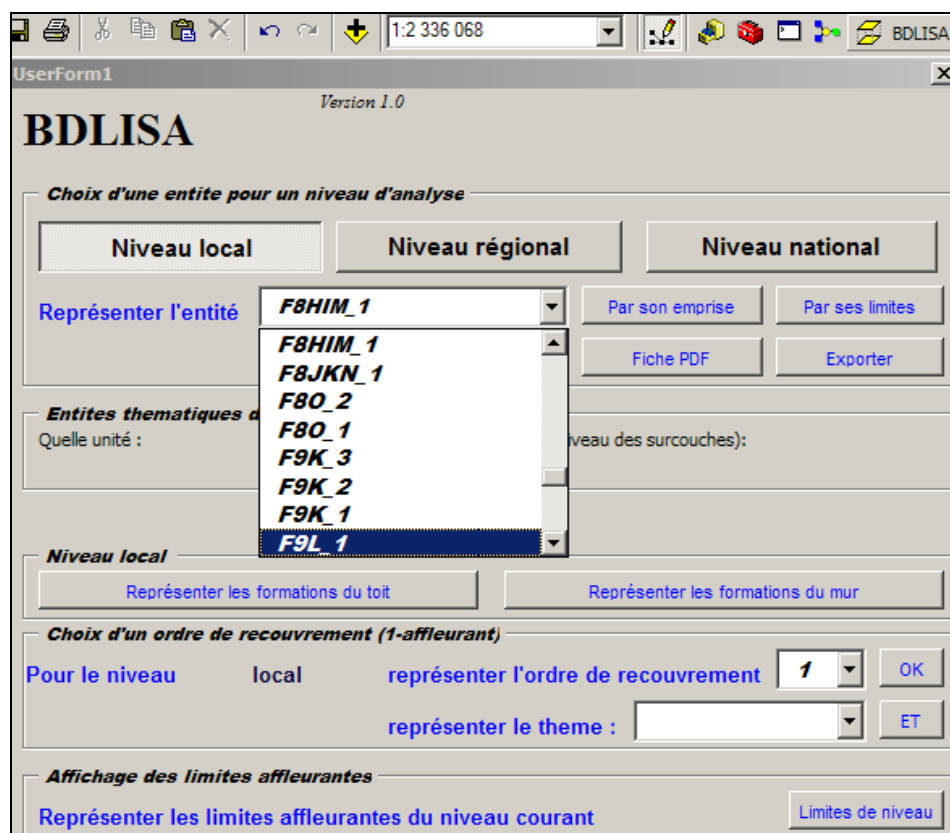


Illustration 21 – Menu général de la géodatabase  
L'icône BDLISA en haut à gauche permet d'appeler le menu

L'illustration 22 présente un exemple de sélection d'entité (F8HIM\_1, *Sables verts de l'Albien*) effectuée à partir du menu ci-dessus (illustration 21, "Représenter l'entité par son emprise").

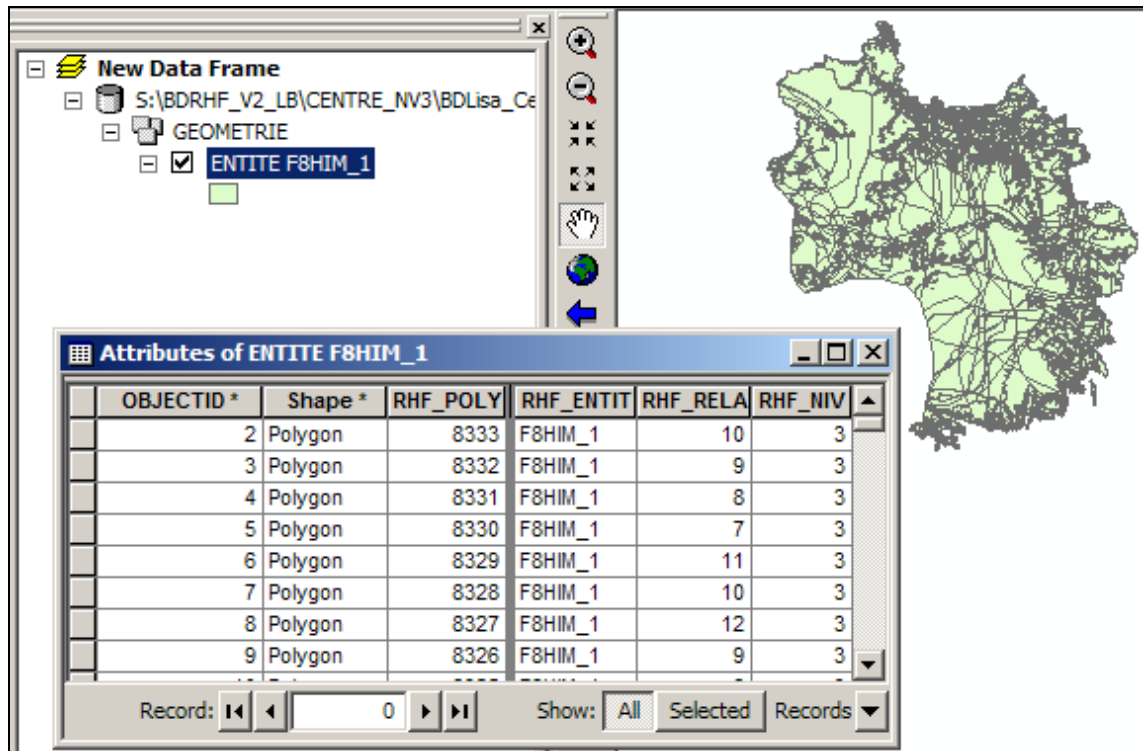
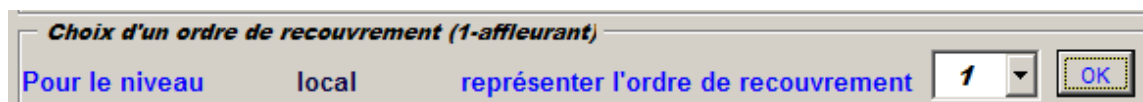


Illustration 22 - Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général

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 23).

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



L'illustration 24 présente une vue des entités de niveau 3 et d'ordre 1 (une couleur à est affectée à chaque entité).

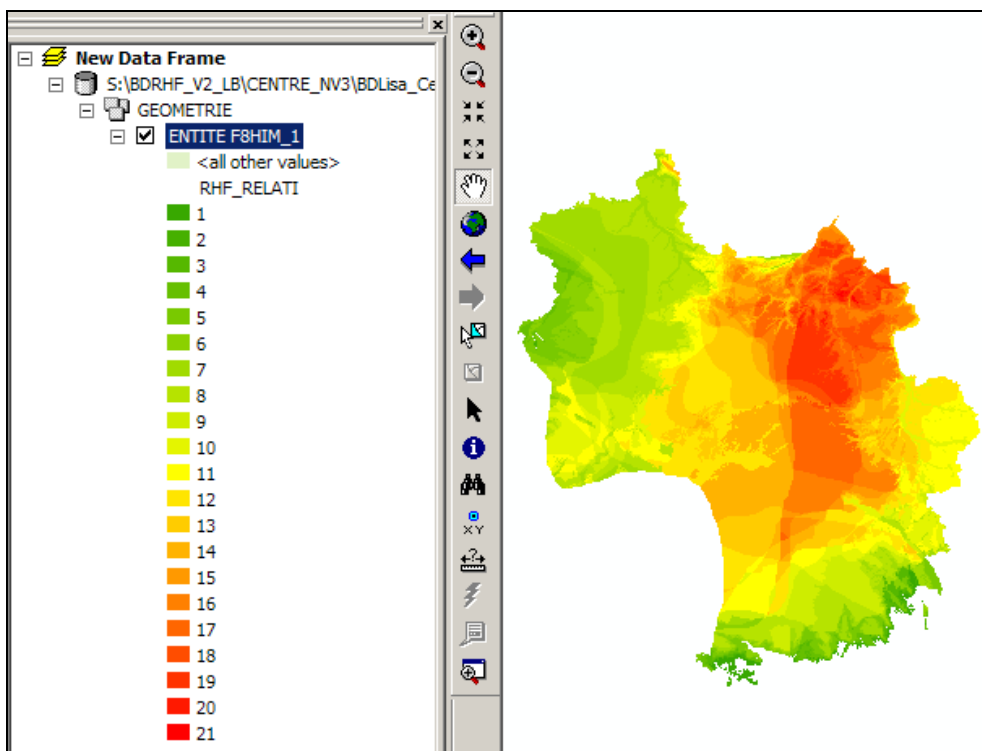


Illustration 23 - Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs)

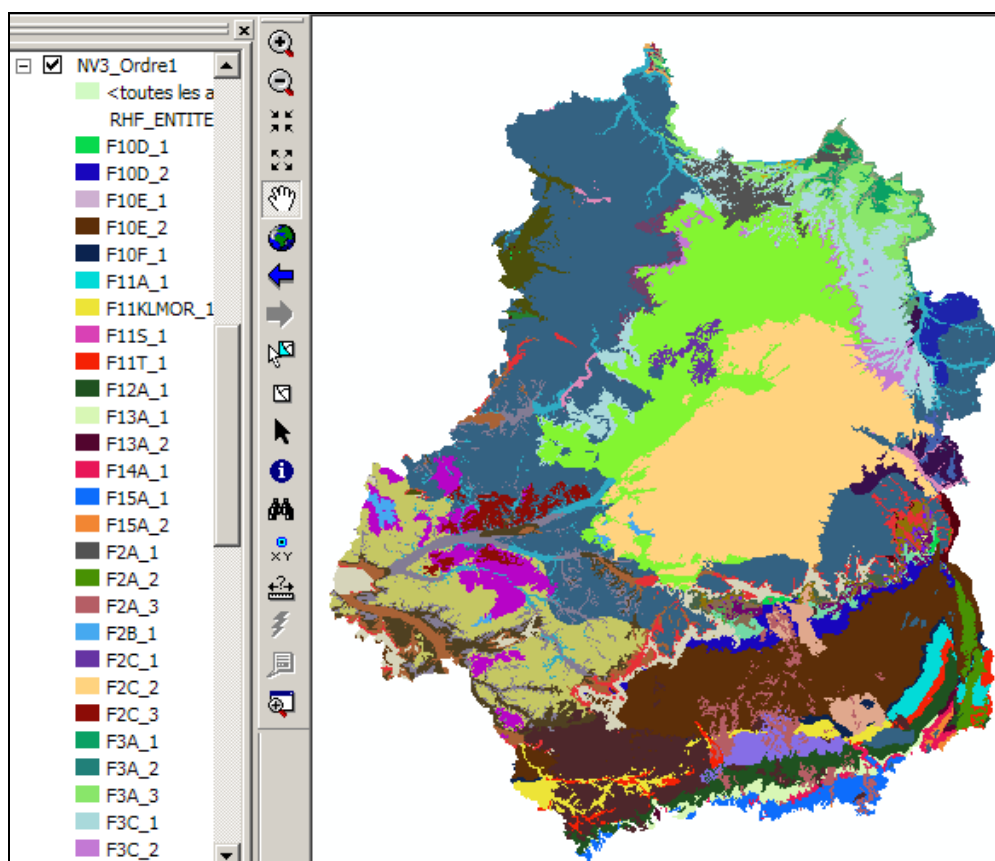


Illustration 24 – Exemple de sélection: entités de niveau 3 et d'ordre 1

### 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).

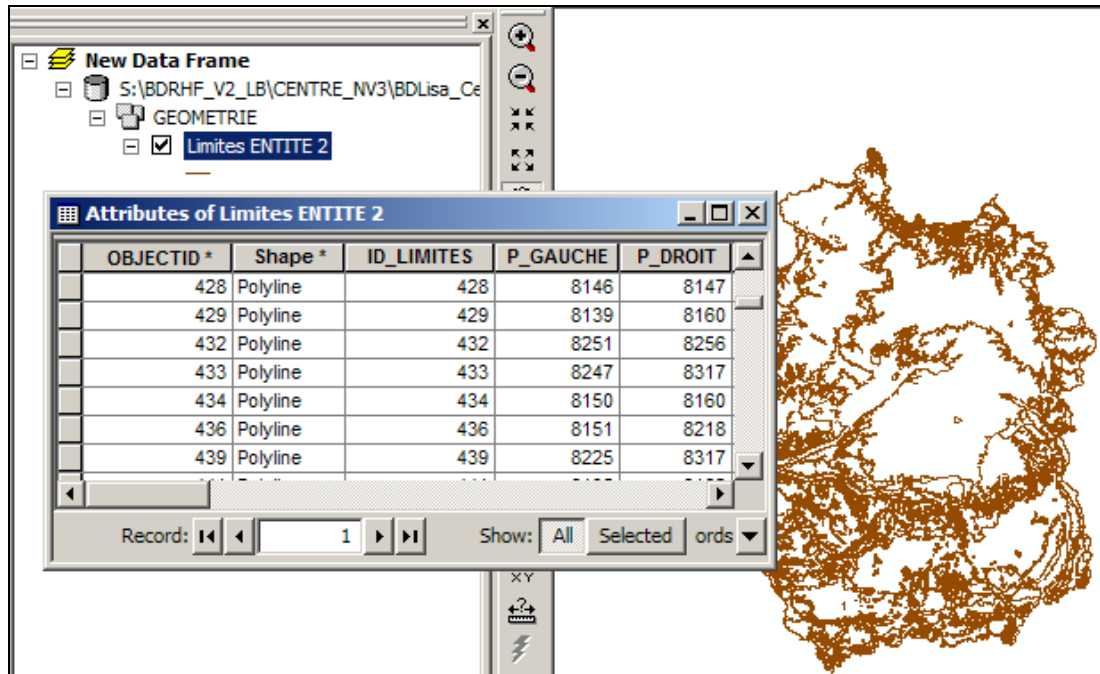


Illustration 25 - Table des limites.

Cette table contient aussi la nature des contacts entre entités (illustration 26).

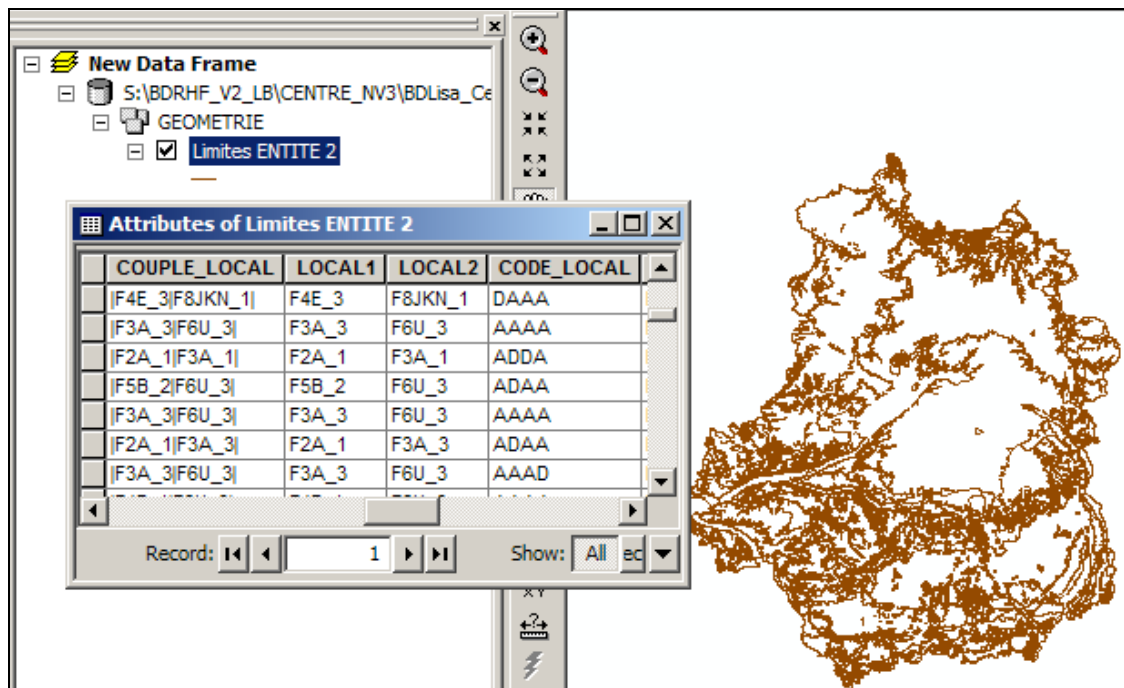


Illustration 26 – Table des natures de contacts entre entités

## 4.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS

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

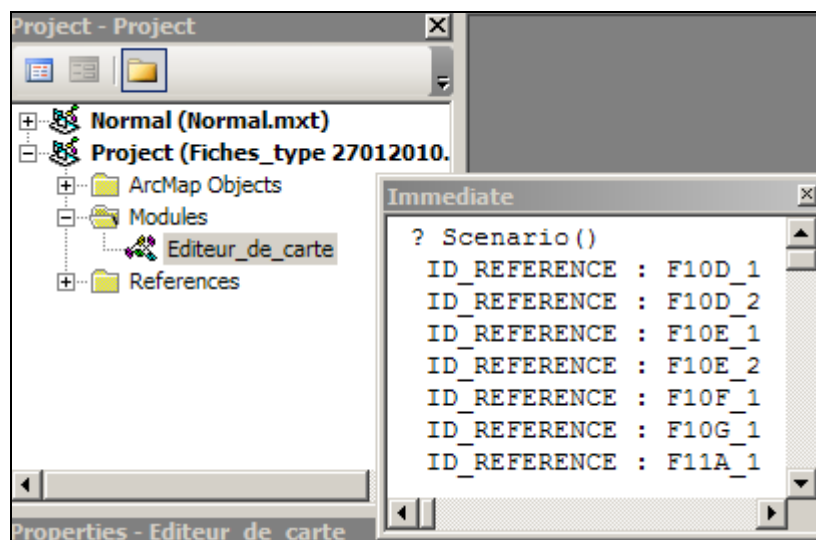


Illustration 27 – Editeur de cartes du modèle de gestion du référentiel

Une fiche d'analyse est constituée de plusieurs blocs d'informations. Les illustrations 28 et 29 fournissent un exemple pour une entité de niveau 3 ("Sables verts de l'Albien inf.", F8HIM\_1).

- Sur la partie gauche de la fiche (illustration 28), l'entité est représentée par une gamme de couleurs qui permet de la repérer verticalement dans la succession des couches qui la recouvrent, chaque couleur correspondant à un ordre de recouvrement.
- La carte de la partie droite de la fiche (illustration 29) représente l'emprise de l'entité de niveau 2 (et celle de niveau 1) à laquelle appartient l'entité de niveau 3

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

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

- Les blocs intitulés "Toit" et "Mur" listent les entités situées directement au dessus de l'entité considérée (les "toits") ainsi que les entités situées directement au dessous (les "murs"), avec en vis-à-vis les superficies des entités constituant ces toits et murs.
- Le bloc intitulé " Limites affleurantes de long. >1 km" fournit la liste des entités mitoyennes de l'entité considérée (à l'ordre 1), la nature des contacts (cf § 2.4.2 et annexe 4) et la longueur (en km) de chaque tronçon de limite partagée.

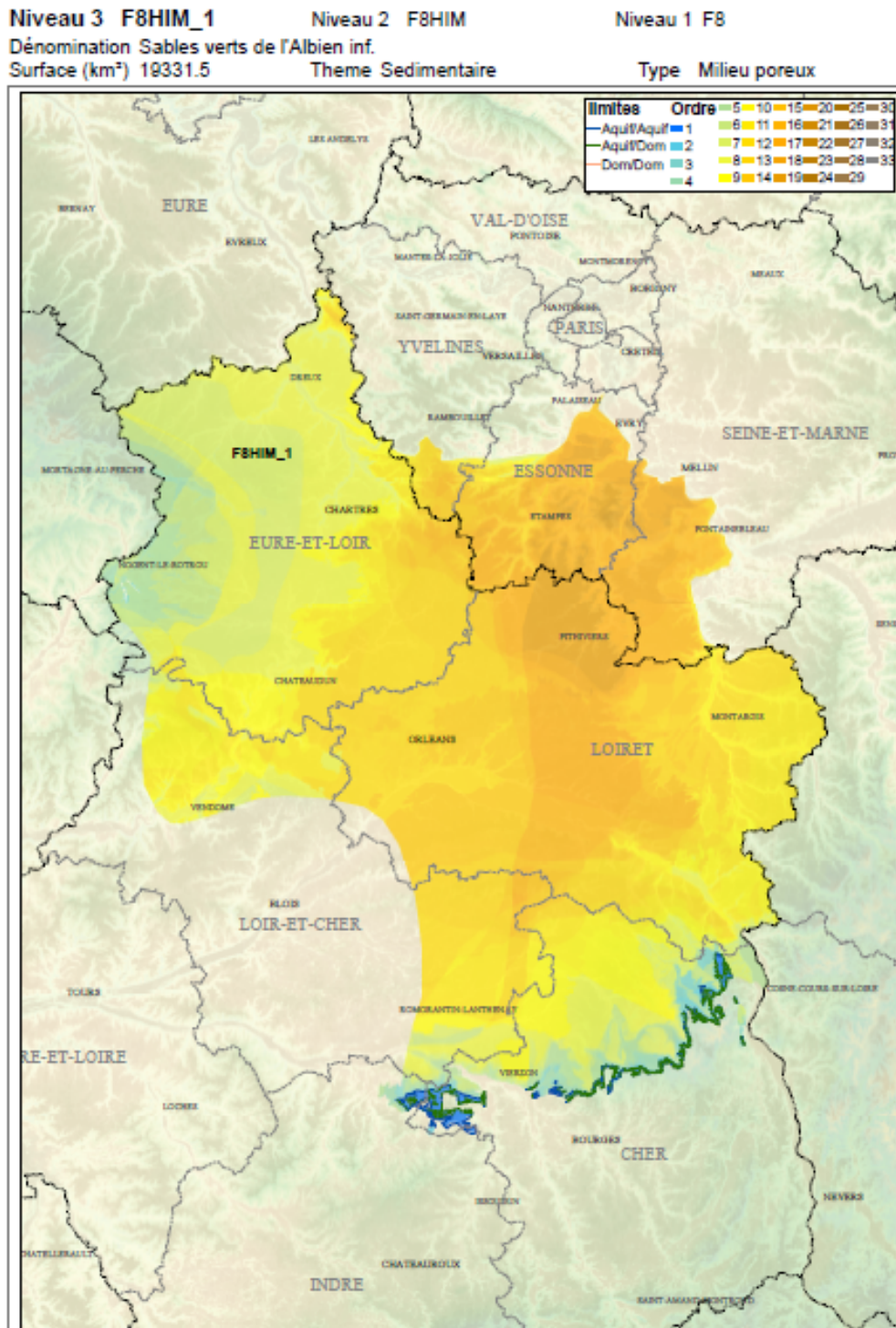


Illustration 28 – Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche)

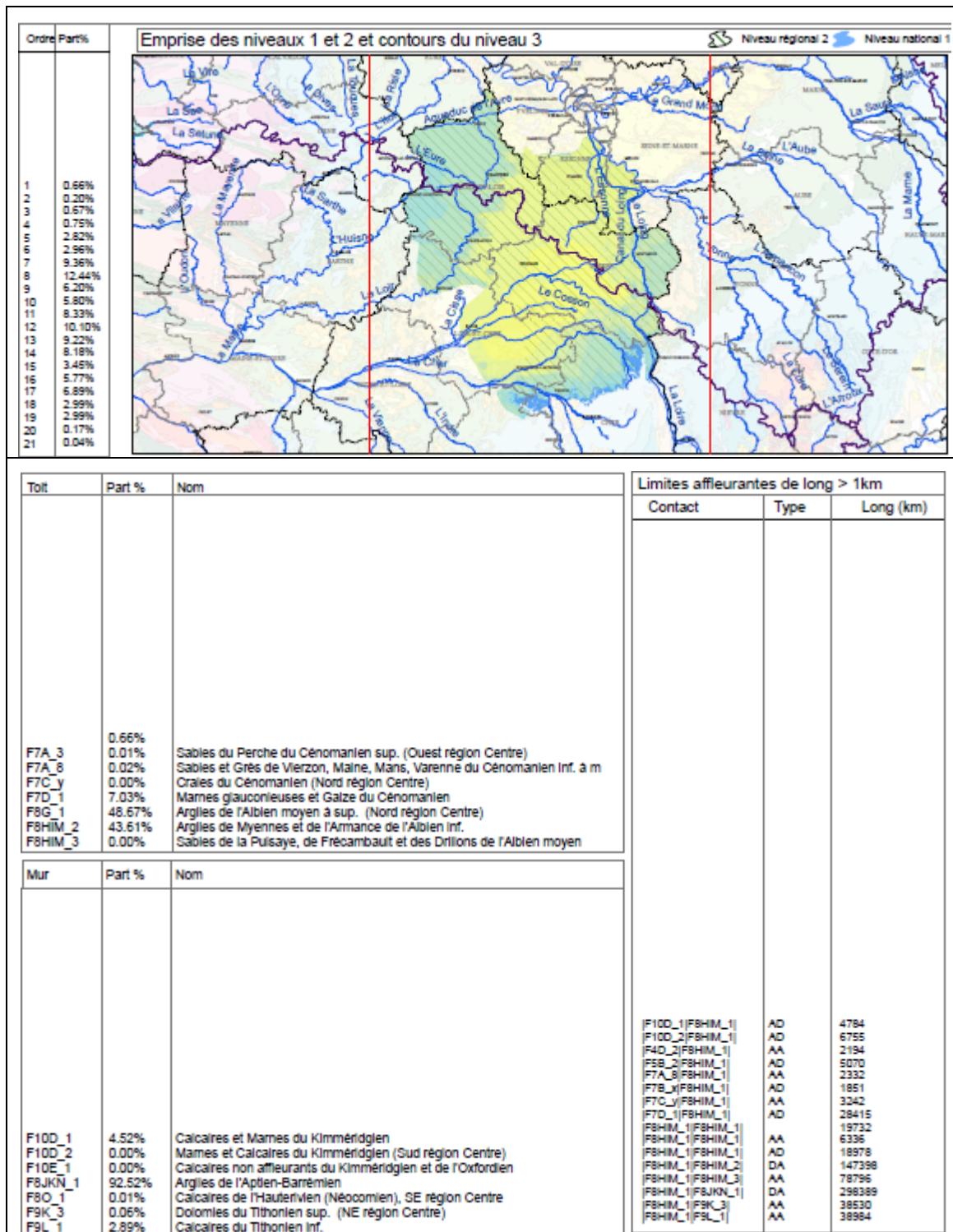


Illustration 29 – Exemple de fiche descriptive (partie droite) d'une entité

## 5. Description des entités hydrogéologiques

Dans ce chapitre, on décrit succinctement les entités de niveau 3 qui ont été délimitées. Chaque paragraphe descriptif débute par un tableau listant les entités décrites avec un code couleur qui permet de préciser leur nature, conformément à la terminologie du guide méthodologique national.

Unité aquifère
Unité semi-perméable
Unité imperméable

Une précision supplémentaire est apportée en introduisant pour quelques entités les expressions: "*unité aquifère multicouche*" (alternance sur la verticale d'horizons perméables et moins perméables) et "*unité aquifère capacitive mais peu transmissive*".

Unité aquifère multicouche
Unité aquifère capacitive mais peu transmissive sauf à proximité des failles

### 5.1. ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES DU TERTIAIRE

#### 5.1.1. Les sables et argiles du Bourbonnais

Ce domaine hydrogéologique du niveau 2 (codé F2A) a été subdivisé en **3 entités semi-perméables** :

Nom	Code_NV3
Sables argileux d'Ardentes du Pliocène	F2A_3
Sables et argiles du Bourbonnais du Mio-Pliocène	F2A_2
Sables de Lozère du Mio-Pliocène	F2A_1

Ces entités sont situées au nord et au sud-est de la région Centre. Elles correspondent à des placages de quelques mètres de sables inclus dans une matrice assez argileuse. De ce fait elles sont globalement peu productives mais peuvent contenir localement des nappes perchées, exploitées par des puits domestiques. Un forage AEP existe dans la formation d'Ardentes.

#### Remarque :

Ces entités, très morcelées, correspondent à des recouvrements de plateaux. Les contours issus de la carte géologique harmonisée ont été précisés par les informations des forages.

Un grand nombre de placages de très faible extension (superficie inférieure à 0.5 km<sup>2</sup>) n'ont pas été cartographiés, ces surfaces très restreintes ne présentant pas d'intérêt hydrogéologique, ni en tant que réservoir ni en tant que couverture protectrice d'un aquifère sous-jacent.

### 5.1.2. Les formations calcaires "superficielles" du Tertiaire

Les entités NV3 identifiées sont au nombre de 4:

Faluns de Touraine et du Blésois du Miocène inférieur	F2B_1
Calcaires lacustres de l'Eocène et Calcaires de Briare de l'Eocène sup.	F4C_1 et F4_C2
Calcaires lacustres du Berry du Priabonien	F4D_2
Calcaires lacustres de Touraine et d'Anjou de l'Eocène supérieur	F4D_1

Ces 5 entités calcaires du Tertiaire se répartissent en de nombreuses unités correspondant morphologiquement à des plateaux séparés par des cours d'eau. Elles ont une épaisseur maximale de 20 à 30 m, mais la partie saturée ne dépasse rarement que 10 à 15 m d'épaisseur. Un grand nombre de ces unités ne constituent que des placages, peu importants en tant que réservoirs aquifères. Le substratum est formé par les Argiles du Sparnacien ou par les Argiles à Silex qui recouvrent la craie. De nombreuses sources naissent à ce contact.

Ces calcaires, lorsqu'ils sont fissurés, sont le siège de circulation localement importante à traits karstiques avec des axes de drainage préférentiels donnant naissance à des résurgences en bordure de vallées (Guttierez et al., 2003).

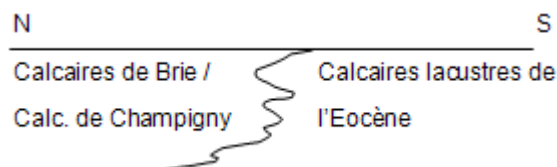
La productivité des aquifères est en général faible, les débits variant de 1 à 10 m<sup>3</sup>/h. Cependant, lorsque les calcaires sont traversés par des failles, les débits peuvent être très élevés, comme à Bléré (110 m<sup>3</sup>/h). De même, on connaît plusieurs sources dont les débits atteignent 100 à 300 m<sup>3</sup>/h (Esves, Truyes, Courçay).

Très superficielles, les nappes renferment une eau de qualité médiocre. La teneur en nitrates, par exemple, dépasse souvent 100 mg/l.

#### 1) Calcaires lacustres de l'Eocène (F4C\_1)

Ces calcaires (Priabonien, ou Ludien dans le Bassin parisien, et Lutétien) correspondent à une entité qui a été considérée comme semi-perméable. Ils s'étendent très largement dans toutes les directions du bassin de Beauce, probablement au-delà des limites d'érosion actuelles avec des épaisseurs de quelques mètres sur les bordures, où ils affleurent, et jusqu'à 50 mètres dans la partie centrale.

A cette entité, localisée dans la partie centre-nord de la région, se rattachent des formations locales comme les Calcaires de Morancez et les Marnes de Villeau. Vers le nord, l'entité est en continuité hydraulique avec les calcaires de Brie/Champigny.



Les calcaires lacustres peuvent être le siège d'une intense activité de karstification. Les valeurs de débit spécifique disponibles sont très variables, avec une valeur médiane supérieure à 20 m<sup>3</sup>/h/m.

Ces réservoirs du Tertiaire sont atteints par de nombreux puits particuliers qui, le plus souvent, ne servent qu'à l'arrosage de jardins. Les forages agricoles sont peu nombreux en raison du débit d'exhaure trop souvent faible. Plusieurs sources sont encore utilisées pour l'alimentation en eau potable, mais la qualité médiocre de l'eau et la difficulté de protéger ces captages sont un obstacle à leur pérennité.

## 2) Calcaires lacustres du Berry du Priabonien (F4D\_2)

Ils sont répartis en plusieurs "incrustations" dans les paléo-reliefs du Secondaire, de part et d'autre de la vallée moyenne du Cher, en amont de Vierzon. Ils sont en général fissurés, fracturés et souvent reconnus comme aquifères, lorsque le réseau de fissures n'est pas colmaté par de l'argile.

On distingue deux unités principales :

- L'unité de Lury-sur-Arnon/Sainte-Thorette : profondément inséré dans les terrains du Secondaire, ce réservoir est en liaison avec les cours d'eau de l'Arnon, du Cher et de l'Yèvre qui assurent ainsi une ressource renouvelable. Ce n'est que très récemment que des études ont été entreprises pour déterminer les potentialités de cette formation. La nappe, libre dans un milieu non filtrant, est relativement contaminée par les activités de surface et reste très vulnérable. Elle est exploitée par quelques forages agricoles et fait l'objet de recherches pour l'alimentation en eau potable.
- L'unité de Châteauneuf-sur-Cher forme un réservoir perché sur un substratum imperméable. Elle est relativement peu épaisse et la ressource en eau y est limitée. Les piézomètres de contrôle montrent une vidange accentuée de ce réservoir en période estivale.

Mis à part quelques forages, la productivité est modeste et très variable dans l'année.

La nappe libre est très vulnérable et contaminée par les activités agricoles.

## 2) Calcaires lacustres de Touraine et d'Anjou de l'Eocène supérieur (F4D\_1)

Les calcaires de Touraine et d'Anjou s'étendent sur les plateaux situés au sud et au nord de la Loire. Ces unités sont pour la plupart affleurantes et ont à peu près les mêmes caractéristiques que les calcaires lacustres du Berry (ci-dessus). Plusieurs forages AEP captent ces aquifères.

## 4) Les Faluns de Touraine et du Blésois du Miocène inférieur (ou d'Anjou ; F2B\_1)

Ces formations sont peu étendues. La ressource est faible et les fluctuations piézométriques saisonnières sont fortes.

### 5.1.3. Les formations de Sologne (F2C)

Cette entité est considérée comme un domaine au niveau 2; au niveau 3 elle est constituée d'une unité aquifère (F2C\_3), d'une unité semi-perméable (F2C\_2) et d'une unité imperméable (F2C\_1).

Sables de Montreuil du Serravallien	F2C_3
Sables et Argiles de Sologne du Burdigalien	F2C_2
Marnes, Argiles et Sables de l'Orléanais et du Blésois du Burdigalien	F2C_1

L'unité aquifère des "*Sables de Montreuil*" forme des placages à l'ouest de la Sologne; d'une épaisseur inférieure à 5 m en général, elle se confond avec les formations détritiques éocènes quand elle recouvre celles-ci.

Les deux autres entités, F2C\_2 et F2C\_3, regroupent les alluvions anciennes en terrasses et les sables et argiles du Mio-Pliocène. Elles définissent la région naturelle de la Sologne, mais s'étendent aussi au nord de la Loire sous la forêt d'Orléans.

Dans l'unité semi-perméable des "*Sables et argiles de Sologne*", le réservoir correspond à des chenaux sableux divaguant dans une matrice argileuse. (On parle parfois d'aquifère en "mille feuilles").

La ressource est en général faible (débits maximaux de l'ordre de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ) et la rencontre de chenaux sableux est le plus souvent aléatoire, à l'exception de l'extrémité sud-est de la Sologne où un niveau sableux de base semble permanent. En Sologne, la présence de nappes perchées pérennes ou temporaires se traduit par des sources.

L'eau est souvent acide, ferrugineuse et, de ce fait, impropre à la consommation humaine. Elle n'est atteinte que par les puits traditionnels des particuliers, le plus souvent abandonnés ou seulement utilisés pour des arrosages modestes. Les débits de cette nappe sont insuffisants pour répondre aux besoins de l'agriculture. Cependant, le réservoir de base repéré au sud-est est capté par plusieurs forages agricoles et participe même à l'alimentation en eau potable (Clémont par exemple).

#### 5.1.4. Les Calcaires de Beauce

Les **Calcaires de Beauce** constituent une entité de niveau 2 (codé **F3C**) correspondant à un système aquifère multi-couches. Au niveau 3, cette entité a été subdivisée en 2 unités aquifères et une unité imperméable :

Calcaires de l'Orléanais et de Pithiviers de l'Aquitainien	F3C_3
Molasse du Gâtinais de l'Oligo-Miocène	F3C_2
Calcaires d'Etampes (Calcaire du Gâtinais) de l'Oligocène	F3C_1

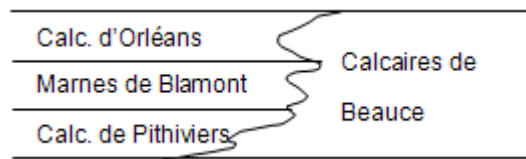
L'aquifère de Beauce est le principal réservoir d'eau souterraine de la région Centre et l'un des plus importants de France avec des débits spécifiques souvent très importants. D'après une analyse faite sur 1416 forages (rapport BRGM R-40571), 23 % ont une valeur de débit spécifique supérieure à  $80 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  et 9 % une valeur supérieure à  $200 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (dans les secteurs karstifiés).

Dans la région, les calcaires affleurent dans le quart nord-est, à cheval sur les départements du Loiret, du Loir-et-Cher et de l'Eure-et-Loir; ils se poursuivent sous la Forêt d'Orléans ainsi que sous les formations de Sologne, au sud de la Loire.

La Beauce s'étend sur les deux bassins de la Seine et de la Loire, ces deux fleuves drainant la nappe, l'un vers le nord, l'autre vers le sud.

Les calcaires lacustres de Beauce comprennent deux assises calcaires principales : les "*Calcaires de l'Orléanais et de Pithiviers*" et le "*Calcaire d'Etampes*", séparés par un banc marneux (la "*Molasse du Gâtinais*") qui joue un rôle primordial pour la protection du Calcaire d'Etampes sous-jacent. Les calcaires sont intensément fissurés; cette fissuration est accentuée par une karstification d'autant plus développée que l'on s'approche de la Loire.

La nappe est libre sous tout le plateau, sauf localement sous la Forêt d'Orléans. Au nord de la Loire la formation des "*Marnes de Blamont*" s'intercale entre les "*Calcaires de l'Orléanais et de Pithiviers*"; mais cette formation intercalaire est de faible épaisseur et parfois traversée par des gouffres qui mettent en relation hydraulique les deux entités. Au sud de la Loire, cette distinction n'est plus possible et les 2 formations sont regroupées sous l'appellation "*Calcaires de Beauce*".



L'unité imperméable de la "*Molasse du Gâtinais*" est pratiquement partout présente au dessus du calcaire d'Etampes mais son rôle d'aquitard a seulement été constaté au niveau du Gâtinais. La molasse constitue par contre un filtre chimique.

La nappe de Beauce est caractérisée par de longs cycles pluriannuels et par une forte inertie. L'épaisseur du réservoir, faible en bordure des affleurements, notamment vers l'est, augmente vers le sud (une cinquantaine de mètres) où les forages peuvent fournir jusqu'à plus de 500 m<sup>3</sup>/h avec des rabattements de l'ordre du mètre. Les valeurs de transmissivités sont souvent supérieures à 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s.

L'eau des calcaires de Beauce est bicarbonatée calcique, avec un pH supérieur à 7, une dureté moyenne de 20 à 30°. La teneur en nitrates est partout élevée pour le réservoir qui affleure, les maximums étant mesurés dans les secteurs où l'aquifère est peu épais, c'est à dire en bordure du plateau. Mais les nitrates ne sont qu'un indicateur et sont accompagnés de tout un cortège de produits polluants résultant des activités humaines. La nappe de Beauce est très vulnérable dans la partie affleurante du calcaire, qui absorbe rapidement toutes les eaux de surface, le ruissellement étant peu important.

La nappe de Beauce est très intensément exploitée par plus de 4 000 forages, à très forte majorité agricole. De plus, de nombreux ouvrages sont utilisés pour l'absorption des rejets de drainage et de stations d'épuration. La nappe est cependant utilisée pour l'AEP dans les deux contextes mentionnés précédemment: dans le Calcaire d'Etampes lorsqu'il est recouvert par la Molasse du Gâtinais et sous les formations de Sologne (Forêt d'Orléans et Sologne).

### 5.1.5. Les Sables de Fontainebleau et les Calcaires de Brie

Ces formations constituent une entité de niveau 2 (codée **F3A**) sous la dénomination de **Sables de Fontainebleau** et correspondent à un système aquifère multi-couches. Cette entité a été subdivisée au niveau 3 en deux unités aquifères, séparées par une unité imperméable.

Sables et Grès de Fontainebleau du Rupélien	F3A_3
Marnes à huitres et Molasse d'Etrechy du Rupélien	F3A_2
Calcaires de Brie du Rupélien	F3A_1

Les sables marins de l'entité "*Sables et Grès de Fontainebleau*" du Rupélien (ou Stampien, selon la charte stratigraphique du bassin de Paris) contiennent une nappe perchée en bordure nord-est du département de l'Eure-et-Loir, drainée vers les vallées. Dans le quart nord-est de la Beauce, ils s'intercalent dans une série calcaire et font partie intégrante du système aquifère de Beauce.

Cet aquifère est peu épais en Eure-et-Loir et ses caractéristiques hydrodynamiques sont inconnues mais probablement peu favorables à l'exploitation. Par contre, l'aquifère est bien développé dans les Yvelines.

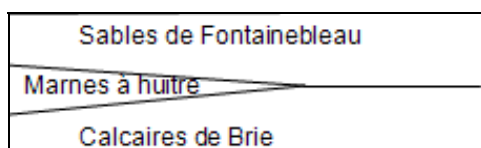
L'eau est peu minéralisée (conductivité inférieure à 300 µS) et relativement dure.

La nappe des Sables de Fontainebleau est captée pour des besoins individuels par puits. Le captage par forage est techniquement difficile en raison de la finesse des

sables, qui peuvent détruire les ouvrages et se révèle donc trop coûteux. La nappe est exploitée dans les Yvelines pour l'alimentation en eau potable.

En continuité avec les Sables de Fontainebleau au nord-est de l'Eure-et-Loir, on trouve une succession de couches calcaires et sableuses aquifères. Elles sont peu développées en Eure-et-Loir à l'extrême nord du département et ne peuvent constituer une ressource économiquement intéressante. Ces formations se développent au nord et à l'est dans les départements des Yvelines et de l'Eure, où le réservoir est exploité aussi bien pour l'eau potable que pour l'agriculture.

Dans la zone centrale, les sables sont séparés de l'aquifère sous-jacent par la formation des "Marnes à huîtres et Molasses d'Etrechy". Mais sur les bordures, les "Sables et Grès de Fontainebleau" reposent directement sur les "Calcaires de Brie". Ces deux aquifères sont ainsi en contact hydraulique direct.



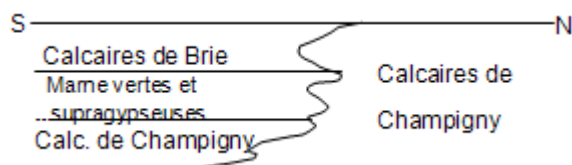
Vers l'ouest et au sud-ouest du Bassin de Paris, l'entité calcaire de Brie devient plus argileuse et peu aquifère. La nappe des calcaires est une ressource importante en eau souterraine. Dans la zone carbonatée, un grand nombre d'AEP exploitent les calcaires de Brie (en continuité avec les calcaires de Champigny en l'absence des marnes vertes). Néanmoins, cet aquifère, peu capacitif, de faible coefficient d'emménagement, est très irrégulièrement productif.

Dans les zones de contact direct des Calcaires de Brie avec les sables fins de Fontainebleau, les ouvrages sont exposés au risque d'ensablement.

N'étant pas entièrement protégée par la couche imperméable de marnes à huîtres, la nappe est aujourd'hui contaminée par les nitrates et des pesticides.

### 5.1.6. Marnes vertes et Marnes supragypseuses du Rupélien

Ce domaine de niveau 2 (codé **F3F**) est reconduit au niveau 3 comme unité imperméable (codée F3F\_1). Cette entité est constituée d'une épaisseur très variable de marnes et d'argiles : une couche d'argile verte (niveau supérieur) recouvre les marnes supragypseuses ainsi qu'un autre niveau marneux et sépare les calcaires de l'Eocène (St. Ouen/Calcaires de Champigny) de ceux de l'Oligocène (Calcaire de Brie) au nord-est de la région Centre.



Ces formations couronnent l'Eocène supérieur et recouvrent les fonds de vallées; elles sont toujours masquées par une mince couche d'éboulis. Elles sont constituées dans leur partie supérieure par les Marnes blanches de Pantin (jusqu'à 4 m d'épaisseur) et les Marnes bleues d'Argenteuil (atteignant 8 à 9 m d'épaisseur). Mais vers le nord, la formation est moins épaisse et non continue et met en communication les Calcaires de Champigny avec les Calcaires de Brie, pour former une couche unique: les Calcaires de Champigny.

### 5.1.7. Calcaires de Saint Ouen et Sables de Monceau du Bartonien

Ce système aquifère de niveau 2 (codé **F4E**) a été subdivisé en 3 unités aquifères :

Calcaires de Champigny du Priabonien	F4E_3
Calcaires de Saint-Ouen du Bartonien	F4E_2
Sables de Monceau et de Beauchamp du Bartonien	F4E_1

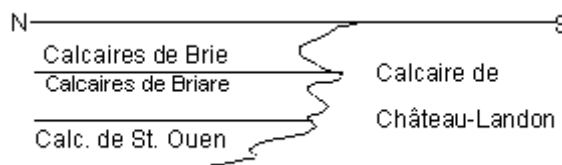
Les *Calcaires de Champigny* forment un aquifère très important pour la région mais très vulnérable aux pollutions d'origine agricole. Vers le sud, ils sont en continuité avec les *Calcaires lacustres de l'Eocène*.

Les *Sables de Monceau et de Beauchamp* s'intercalent entre les marno-calcaires de Saint-Ouen; la plupart des sables se trouvent au nord-est de la région sous les calcaires. Le *Marno-calcaire de Saint-Ouen* (Bartonien moyen) forme un aquifère multicouche et renferme une fraction gypseuse dont la puissance totale est très variable.

L'alternance de marnes et d'argiles, sous les sables, est à l'origine de nombreuses sources temporaires.

La nappe des calcaires de Champigny est la principale ressource régionale en eau souterraine, principalement destinée à la production d'eau potable. En raison de sa proximité de la surface et de l'absence d'une protection par des couches imperméables continues, cette ressource est aujourd'hui contaminée par les nitrates et les pesticides. La nappe est en connexion hydraulique avec les eaux de surface, elles-mêmes contaminées par des pollutions d'origine agricole.

Les calcaires de Brie (Oligocène), de Briare et de Saint Ouen sont regroupés sous l'appellation Calcaires de Château-Landon (qui apparaît également sur les cartes géologiques dans le département du Loiret).



### 5.1.8. Sables et argiles de Brenne du Bartonien

Ce domaine de niveau 2 (codé **F4F**) est reconduite au niveau 3 comme unité semi-perméable. Il correspond à un multicouche constitué de sables, grès, argiles et comprend aussi un complexe détritique fluvial au sud de la région, en contact avec la région Poitou-Charentes. Ces formations affleurent en grande partie et ont une épaisseur de l'ordre de 5 m, rarement supérieure à 10 m. Seules les zones supérieures à 1 km<sup>2</sup> ont été retenues.

Les bancs sableux constituent de petits réservoirs aquifères, mais la formation étant néanmoins essentiellement argileuse, la ressource est très réduite. Les ouvrages de captage sont les puits traditionnels, abandonnés maintenant pour la plupart, et quelques forages agricoles de faible débit. Pour l'alimentation en eau potable, la ressource est recherchée à plus grande profondeur dans d'autres formations géologiques (Sable du Cénomaniens, Calcaire du Jurassique).

### 5.1.9. Poudingues, Calcaires, Marnes et Caillasses du l'Eocène moyen et inférieur

Cette entité de niveau 2 (codée **F4G**), considérée comme un domaine, est située au dessus de la formation des argiles à silex (qui sépare le Tertiaire du Crétacé). Elle a été subdivisée en 6 entités NV3, dont 3 unités semi-perméables, une unité imperméable et deux unités aquifères.

Marnes et Caillasses du Lutétien au nord de la Beauce	F4G_5
Calcaires grossiers au nord de la Beauce	F4G_4
Sables et grès du Breuillet (Arkose du Breuillet) du Lutétien	F4G_3
Argiles de Lignièrès et Cailloutis à Chailles de l'Eocène	F4G_6
Formation à Chailles du Loing et Poudingues de Nemours de l'Eocène	F4G_2
Poudingues de Gien de l'Eocène inférieur	F4G_1

Ces 6 unités sont très localisées et ne dépassent pas les 2000 km<sup>2</sup>.

Les *Poudingues de Gien* (F4G\_1), appelés également Perrons, correspondent à une formation fluviatile détritique d'argiles, sables, conglomérats, notamment les silex du Crétacé. Cette unité, coupée par la Loire, atteint une épaisseur d'une trentaine de mètres et affleure vers Gien. La composante fine, ou argileuse de la matrice la rend peu perméable et non intéressante en termes de ressource en eau.

La *Formation à Chailles du Loing et les Poudingues de Nemours* constituent une unité semi-perméable (F4G\_2). En continuité avec les Sables et Grès de Breuillet au nord, elle s'étend à l'ouest de Montargis jusqu'en Seine-et-Marne.

L'unité aquifère des *Sables et Grès du Breuillet* (F4G\_3), aussi appelée "*Arkose du Breuillet*", s'étend à l'extrémité nord-est du bassin de la Beauce. Cette formation fluviatile est constituée de niveaux de sables et d'argiles. Quand elle est sableuse elle peut mettre en connexion (par des corps chenalisés perméables) la craie du Crétacé et les calcaires éocènes.

Les *Calcaires grossiers* (F4G\_4) sont localisés à l'extrémité nord de la zone d'étude, au sud de l'Île de France. Ces calcaires, largement exploités en Île-de-France, sont en général intégrés dans la série des Calcaires de Champigny, Saint-Ouen et Calcaires grossiers. Vers le sud-est, les formations de type continental prédominent et l'on constate un accroissement des faciès marneux et argileux.

L'unité semi-perméable des *Marnes et Caillasses* (F4G\_5), qui affleure à l'extrémité nord de la région Centre et qui s'étend vers la région de l'Île de France, est constituée par une alternance de bancs de marnes plus ou moins calcaires. Il peut y avoir localement des bancs calcaires plus perméables.

*Argiles de Lignièrès et cailloutis à chailles*(F4G\_6) forment une unité imperméable au sud du département.

### 5.1.10. Formations résiduelles post-campanien

Elles sont rassemblées dans une entité de niveau 2, appelée **Argiles à Silex** (codée **F5B**), subdivisée en une unité semi-perméable, et une unité imperméable :

Formations détritiques continentales, Sables et Argiles à silex post-campanien	F5B_2
Marnes et formations argilo-siliceuses post-campanien	F5B_1

Ces deux unités sont issues de la décalcification de la craie et forment une couverture sur toute l'étendue de la craie lorsqu'elle affleure. L'unité argilo-siliceuse (F5B\_1) apparaît plus au sud-ouest du département et se prolonge avec des formations plus argileuses et imperméables dans tout le nord de la région (F5B\_2).

Les affleurements sont localisés sur les bordures Ouest, Sud et Est. Vers le nord, ces unités sont recouvertes par les formations du tertiaire.

L'unité F5B\_1 sous-jacente peut être localement aquifère, notamment au nord du département du Cher, en bordure de la Sologne.

Par le jeu de plusieurs facteurs tectoniques et hydrauliques, les silex ont été localement lessivés le long de la Nère, avant d'être recouverts par les formations de Sologne. Sans la gaine d'argile, la productivité de cette formation peut être très élevée, mais sur une surface restreinte.

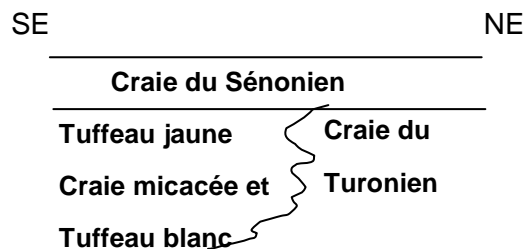
## 5.2. ENTITÉS DU SECONDAIRE: LE CRÉTACÉ

### 5.2.1. La Craie et les Sables du Séno-Turonien

Ces formations sont rassemblées dans une entité aquifère de niveau 2, appelée **Craie du Séno-Turonien** (codée **F6U**) et subdivisée en 4 unités aquifères :

Craie du Sénonien	F6U_3
Craie du Turonien	F6U_X
Tuffeau jaune du Turonien moyen à supérieur (SO région Centre)	F6U_5
Craie micacée et Tuffeau blanc du Turonien moyen (SO région Centre)	F6U_8

Les deux unités "*Tuffeau blanc*" (F6U\_8) et "*Tuffeau jaune*" (F6U\_5) s'étendent au sud-ouest de la région Centre. La craie du Turonien (F6U\_X) apparaît sur toute la partie nord de la région en continuité latérale avec le Tuffeau jaune (F6U\_5). La craie sénonienne (FU\_3) se rencontre dans la partie sud et forme des placages sur les deux unités de Tuffeau.



Ces unités se poursuivent en Pays-de-la-Loire (illustration 30).

	PAL (49 et 72)		Région Centre	
Sénonien F6U	Sables du Sénonien	Craie de Villedieu du Sénonien	Craie du Sénonien	
Turonien supérieur F6U	Sables glauconieux et faluns de Contivoir		Tuffeau jaune du Turonien	Craie du Turonien sup.
Turonien moyen et inférieur	Craie et Tuffeau d'Anjou et de Touraine		Craie micacée et Tuffeau blanc	Craie du Turonien moyen

Illustration 30 – Le Sénonien-Turonien en région Centre et région Pays-de-la-Loire

Globalement, cette série du Sénonien et du Turonien est représentée par une puissante assise de craie qui affleure très largement sur tout le pourtour Ouest, Est et Sud de la région et dont la partie supérieure est constituée, jusqu'au Turonien moyen, par une craie dure et une craie sableuse à l'ouest, pouvant être aquifère. Les couches constituant cette craie s'enfoncent vers le centre du Bassin Parisien (fosse de Sologne, fosse de Pithiviers). La base de la craie que l'on rencontre sur la bordure extérieure des affleurements devient marneuse et imperméable.

Poreuse, la craie n'est cependant pas perméable intrinsèquement. Elle ne contient de l'eau mobilisable que lorsqu'elle est fracturée, situation rencontrée le long des failles ou sur les bombements anticlinaux, ou bien lorsqu'elle est altérée, sous les plaines alluviales des grands cours d'eau.

Dans certains secteurs, il existe de véritables réseaux karstiques, comme la rivière souterraine d'Orchaie, près de la Cisse.

La craie est recouverte par une couche d'argile (notamment l'Argile à silex, F5B), produit de décalcification de la craie; celle-ci peut former localement un écran protecteur, mais elle est souvent lacunaire, notamment le long de talwegs, et "percée" en de multiples lieux (bétoires), ce qui rend cette protection peu efficace à grande échelle.

La nappe est libre au niveau des affleurements et s'écoule vers les vallées où de nombreuses sources se déversent. La surface piézométrique présente un gradient généralement fort, ce qui traduit une perméabilité médiocre.

Sous les formations de Beauce, la nappe est captive et sa surface piézométrique se situe souvent très au-dessous de celui de la nappe de Beauce, déterminant une drainage de la nappe de Beauce vers la nappe de la Craie (d'où un risque de contamination progressive de celle-ci).

La productivité des ouvrages souterrains est extrêmement variable, fonction du développement des fractures ou de l'altération : la craie est un réservoir discontinu. Lorsque la nappe est libre, les débits peuvent parfois dépasser 150 m<sup>3</sup>/h, comme dans la vallée du Cher. Sur les plateaux, les débits sont modestes (autour de 20 m<sup>3</sup>/h en général) et les échecs en forage sont nombreux. Dès que l'on pénètre sous couverture, la productivité diminue ; en domaine profond, la craie n'est plus considérée comme aquifère.

Au plan de la qualité de l'eau, sur toute la zone des affleurements, la nappe est fortement contaminée par les activités de surface, essentiellement par les produits de traitement agricoles. Les teneurs en nitrates n'ont cessé de croître jusqu'à des valeurs dépassant souvent 50 mg/l ; l'argile à silex qui recouvre la craie ne remplit donc pas un rôle d'écran protecteur. Par ailleurs le pH varie de 7,2 à 8,6 et la dureté est élevée (20

à 33°). En domaine captif, sous les Calcaires de Beauce ou sous la Sologne, l'eau est peu ou pas affectée par les pollutions.

La nappe de la Craie est fortement sollicitée pour tous les usages (agriculture, eau potable,...) car elle constitue souvent l'unique ressource économiquement exploitable. Là où la nappe de la craie est libre, les puits traditionnels sont nombreux ; de par leur conception, ils doivent contribuer au transfert des eaux superficielles polluées vers la nappe. Plusieurs captages d'eau potable ont été abandonnés en raison de la mauvaise qualité de l'eau et de l'impossibilité de les protéger efficacement. Vers l'ouest, on recherche de préférence une ressource mieux protégée : la nappe du Cénomaniens.

En bordure de la Beauce, de nombreux forages agricoles captent à la fois la nappe de Beauce (dont la tranche d'eau est trop faible pour fournir de forts débits) et celle de la Craie, mais ces forages mal conçus entraînent une invasion progressive de la Craie par les eaux polluées de la nappe de Beauce.

### 5.2.2. Craies marneuses et Marnes cénomaniennes et turoniennes

Elles constituent 2 entités de niveau 3, l'une considérée comme imperméable (F7B\_X), l'autre comme semi-perméable (F6X\_1)

Craie marneuse du Turonien inférieur	F6X_1
Marnes à Ostracées et Actinocamax plenus du Cénomaniens supérieur	F7B_X

Le schéma de l'illustration 31 permet de situer ces formations dans l'ensemble complexe des formations du Cénomaniens-Turonien.

QUEST		EST
<b>Craie marneuse du Turonien inférieur</b>		
<b>Marnes à Ostracées et Actinocamax plenus au dessus des Sables de Perche</b>		
<b>Sables du Perche</b>		<b>Marnes à Ostracées laterale aux Sables de Perche</b>
<b>Marnes de Bouffry</b>		
<b>Sables et grès de Vierzon, Lamnay, Trugalle, Maine, Mans, Varenne</b>		<b>Craie du cénom. laterale aux sables et marnes à ost.</b>
<b>Craie du cénomaniens sous les sables cénom et marnes à ost.</b>		<b>Craie du cénom. sous les sables et marnes à ost.</b>
<b>Marnes et gaize cénomaniennes</b>		
<b>Argiles de l'Albien moyen à supérieur</b>		

Illustration 31 – Schéma des unités du cénomaniens et turonien avec leurs limites latérales et verticales

La craie plus ou moins marneuse du Turonien inférieur (codé F6X\_1) forme le mur de la Craie du Turonien F6U\_X, cf ci-dessus) et du Tuffeau blanc (F6U\_8). Elle s'étend de ses affleurements au sud de la région jusqu'au nord du Bassin de Paris. Cette unité semi-perméable ne constitue que rarement une ressource aquifère; elle peut néanmoins contenir localement des nappes dans des zones plus perméable car plus crayeuses et proche de la surface. Par exemple, la craie de Liguell est exploitée avec les Sables et Grès de Vierzon.

L'unité imperméable des Marnes à Ostracées et Actinocamax plenus du Cénomaniens supérieur s'étend au Sud et à l'Est de la région. Cette couche est très imperméable, avec des épaisseurs de 10 m et plus sauf dans la région de Montargis (de 5 à 10 m).

Ces marnes séparent les sables du Cénomanién de la Craie du Turonien.

### 5.2.3. Les Sables du Cénomanién

Ce système aquifère (codé **F7A**) a été subdivisé au niveau 3 en 3 unités aquifères et 1 unité semi-perméable.

Sables du Perche du Cénomanién supérieur (Ouest de la région Centre)	F7A_3
Marnes de Bouffry du Cénomanién supérieur (Ouest de la région Centre)	F7A_7
Sables et Grès de Vierzon, Maine, Mans, Varenne du Cénomanién inférieur à moyen	F7A_8
Sables et Grès de Lamnay et Trugalle du Cénomanién inférieur (Ouest de la région Centre)	F7A_9

Le toit de cette formation aquifère est constitué notamment par les *Sables du Perche* (F7A\_3) et les *Sables de Vierzon* (F7A\_8), le mur correspond aux horizons sableux du Cénomanién inférieur (*Sables et Grès de la Trugalle ou de Lamnay*, F7A\_9). Souvent la notation *Sables du Cénomanién* désigne l'ensemble du Cénomanién moyen à inférieur.

Les Sables peuvent inclure des horizons inférieurs plus marneux, notamment les *Marnes de Bouffry* (F7A\_7) ou gréseux.

Les Sables du Cénomanién s'étendent sur les deux tiers sud-ouest de la région. Ils affleurent en un arc fin en limite occidentale de la région et au sud; ils s'enfoncent sous les formations crayeuses et marneuses autour de la fosse de Sologne. En région Centre, ils sont désignés par les termes de "*Sables du Perche*" à l'ouest et "*Sables de Vierzon*" au sud. L'épaisseur de ces sables est de plus de 30 m aux affleurements à l'ouest ;elle se réduit rapidement en profondeur et au sud.

Au nord, on passe à un faciès dominant de craie marneuse; la limite nord d'extension des sables qui a été retenue correspond à celle qui borne le modèle hydrodynamique des Sables du Cénomanién réalisé par la SOGRAH (cf. bibliographie).

Les *Sables et Grès de Lamnay* (F7A\_9) se trouvent en limite ouest de la région avec une extension principale dans la région Pays-de-la-Loire. Cette couche forme un aquifère d'extension limitée, mais qui peut atteindre une épaisseur d'environ 10 m.

Les *Sables et Grès de Vierzon, Maine, Mans, Varenne* du Cénomanién inférieur à moyen (F7A\_8) ont l'extension la plus importante, s'étendant des affleurements au sud-est vers Vierzon jusqu'à la limite de la sédimentation continentale à laquelle a succédé une sédimentation plus marine. L'épaisseur de l'aquifère est de 100 m et plus dans sa partie centrale (vers Tours, elle peut atteindre plus de 200 m).

Les *Marnes de Bouffry* (F7A\_7) apparaissent à ouest de la région et n'affleurent que dans le nord-ouest de la région en contact avec les affleurements des *Sables du Perche*. Cette formation, dont l'épaisseur peut atteindre plus de 40 m, est constituée d'une épaisse couche de marnes grises plastiques faiblement détritiques. Des intercalations de bancs de sable et des faciès de marnes micacées sont également citées. Ces marnes apparaissent en général au dessus des *Sables de Vierzon*.

Les *Sables de Perche* (F7A\_3) s'étendent sur toute la partie nord-est du système aquifère. Ils sont proches de la surface et leur épaisseur est très variable, comprise entre quelques mètres vers les vallées et 30 m sous les palataux.

Ces entités se prolongent vers la région voisine Pays de la Loire (illustration 32).

	PAL (49 et 72)			Région Centre		
Turonien inférieur F6X	F6X1 - Craie marneuse à Inocerames			F6X1 - Craie marneuse à Inocerames		
Cénomaniens sup. F7A	Sables de Bousse et Sables et Grès à Catopygus			Marnes à Ostracées et Actinocamax plenus		Marnes à Ostracées et Actinocamax plenus
	Marnes à Huîtres (Ostrea biauriculata)					
	Sables du Perche			Sables du Perche		Marnes à Ostracées
Cénomaniens moyen F7A	Sables et Grès du Mans	Marnes de Nogent le Bernard	Craie de Theligny	Marnes de Bouffry		
				Sables de Varennes, Sables et Grès de Vierzon		
Cénomaniens F7A inf. FC2	Sables et Grès de la Trugalle et de Lamnay			Sables et Grès de la Trugalle et de Lamnay		
			F7 C2 Craie		F7C2 Craie	
	F7D1 - Craie glauconieuse			F7D1 - Marnes glauconieuses et Gaize		

Illustration 32- Le Cénomaniens en région Centre et région Pays-de-la-Loire

La nappe du Cénomaniens s'étend sur une superficie d'environ 29 000 km<sup>2</sup> et constitue une réserve stratégique dans le bassin Loire-Bretagne. Une baisse régulière des niveaux dans certaines parties de la zone captive est observée depuis une trentaine d'années notamment en Touraine. Cette fragilisation de la nappe se traduit par une baisse de productivité des ouvrages, et un risque de "dénoyage" de la nappe dans certaines zones d'exploitation.

Pour ces raisons, un comité de gestion de la nappe a été mis en place et un modèle hydrodynamique a été construit (SOGRAH, 2004-2007, cf. bibliographie).

La nappe, captive hors des affleurements, est drainée par la Loire. L'eau est artésienne et jaillissante sur quelques forages profonds. Cependant, suite à une exploitation relativement importante au regard de son alimentation, on assiste à un abaissement progressif de la nappe en domaine captif profond (région de Tours, vallées du Cher et de la Vienne, Sologne, ...).

La productivité de l'aquifère est très importante dans la Sarthe et le Maine-et-Loire où les sables affleurent sur une grande épaisseur (plus de 100 m<sup>3</sup>/h); elle est plus modeste dans la région, au fur et à mesure que l'on s'enfonce vers le centre de la fosse où les bancs de sable s'amincissent, se chargent en argile ou se cimentent (grès) ; elle se réduit également rapidement vers l'est et le sud. Des débits de l'ordre de 100 m<sup>3</sup>/h peuvent être obtenus sous la ville de Tours, mais ils ne sont plus que de 10 à 20 m<sup>3</sup>/h sous la Sologne ou en Eure-et-Loir.

Les principales caractéristiques chimiques sont une résistivité élevée (eau bien filtrée), un pH à tendance acide et une faible dureté (10° F environ). En domaine captif, la teneur en nitrates est nulle. De par la lithologie du réservoir et la couverture marneuse très épaisse, la nappe est peu vulnérable aux activités humaines de surface.

La nappe est exploitée pour des besoins divers à proximité des affleurements occidentaux (eau potable, agriculture ne demandant pas de gros débits). En domaine captif, les débits d'exhaure sont trop faibles et le coût des captages trop élevé pour permettre une exploitation à des fins agricoles. La nappe du Cénomaniens est presque

exclusivement captée pour l'alimentation humaine et des mesures de protection sont prévues par son classement en "zone de répartition", après qu'elle ait été soumise à une réglementation très restrictive en Indre-et-Loire (décret-loi de 1935).

#### 5.2.4. Marnes et Craies marneuses du Cénomanien

Deux entités de niveau 2 ont été distinguées:

- **Marnes et Craies marneuses du Cénomanien (F7C)**
- **Marnes et Gaizes du Cénomanien (F7D)**

Chacune a été reconduite au niveau 3, respectivement comme unité aquifère (F7C\_Y) et unité imperméable (F7D\_1)

Craie du Cénomanien (Nord région Centre)	F7C_Y
Marnes glauconieuses et Gaizes du Cénomanien	F7D_1

L'unité aquifère de la craie du Cénomanien en région Centre (F7C\_Y) est une craie de plus en plus marneuse et glauconieuse en allant vers le sud. L'aquifère de la craie est surmonté au nord-est de la région par une couche de marnes à Actinocamax plenus. Le faciès crayeux se développe vers le nord et l'est du Bassin parisien, comme la Craie de Rouen qui peut être plus aquifère.

Les formations des Marnes et Gaizes sont regroupées en une unité imperméable (F7D\_1); elles correspondent dans leur ensemble à une couche a priori continue allant des affleurements vers Vierzon jusqu'au nord de la région. Leur épaisseur ne dépasse que rarement les 10 m au nord-ouest de la région. Cette unité s'étend sur la moitié nord du département avec une épaisseur de l'ordre de 20 mètres, sauf dans le paléo-fossé à l'ouest d'Orléans, où les épaisseurs dépassent les 50 mètres.

#### 5.2.5. Les Argiles de l'Albien moyen à supérieur

Cette formation constitue un domaine de niveau 2 (codé **F8G**), reconduite au niveau 3 comme unité imperméable (F8G\_1) sous la dénomination "*Argiles du Gault et Marnes de Brienne*". Ces argiles, (notamment les argiles du Gault) constituent le substratum imperméable des formations aquifères du Crétacé inférieur (Sables du Cénomanien, Craie du Séno-Turonien) qu'elles séparent des niveaux sableux de l'Albien.

#### 5.2.6. Les sables de l'Albien

Ce système aquifère (codé **F8HIM**) a été subdivisé au niveau 3 en 2 unités aquifères et 1 unité imperméable. Les Sables verts s'étendent sur pratiquement toute la région sauf au sud. La couche imperméable des Argiles (F8HIM2) s'étend sur tout la moitié est du département et s'intercale entre les deux unités aquifères.

Sables de la Puisaye, de Frécambault et des Drillons de l'Albien moyen à supérieur (Est région Centre)	F8HIM_3
Argiles de Myennes et de l'Armanche de l'Albien inférieur (Est région Centre)	F8HIM_2
Sables verts de l'Albien inférieur	F8HIM_1

Les nombreux forages réalisés témoignent de la séquence ci-dessus, qui couvre tout le nord-est du département du Cher jusqu'aux affleurements représentés par un fin liseré où la formation est connue sous le nom de "*Sables de la Puisaye*". Au nord-ouest

d'Orléans, l'épaisseur devient inférieure à 25 mètres sauf au niveau d'un paléo-fossé à l'ouest d'Orléans.

En bordure du Pays-Fort, de nombreuses sources apparaissent au contact des terrains sous-jacents imperméables.

La productivité est de quelques dizaines de m<sup>3</sup>/h, les débits pouvant atteindre 100 m<sup>3</sup>/h au nord du Loiret.

L'eau est de bonne qualité, malgré une teneur en fer souvent excessive. Recouverte par d'épaisses couches argileuses, cette nappe est bien protégée des activités de surface.

Profonde, coûteuse à capter, mais bien protégée naturellement, cette nappe ne peut répondre qu'aux besoins en eau potable pour la distri(Montbouy, Dordives, Courtenay, Vendôme, Yèvres, Nançay, ...) ou l'industrie alimentaire (Saint-Martin d'Abbat, Bazoches-sur-le-Betz, ...).

Du fait de la qualité de l'eau et de sa bonne protection naturelle, l'exploitation de cette nappe est très strictement réglementée, avec des prélèvements annuels limités sur toute la région qui interdisent pratiquement tout nouveau captage.

### 5.2.7. Argiles de l'Aptien-Barrémien

Ce domaine de niveau 2 (codé F8JKN\_1) n'a pas fait l'objet d'une subdivision. Il sépare les deux systèmes aquifères sableux de l'Albien et du Néocomien et s'étend sur presque toute la région (Ouest excepté) jusqu'au niveau de Vierzon [Rusciadelli, 1996].

Les niveaux de l'Aptien peuvent être sableux ou argileux; ils renferment une nappe importante dans le nord-est du bassin de Paris (Sables blancs et Sables et Argiles bariolées du Barrémien), mais en région Centre, le Barrémien et l'Aptien inférieur sont principalement argileux.

### 5.2.8. Sables et Calcaires du Néocomien

Les **Sables et Calcaires du Néocomien** constituent un système aquifère au niveau 2 (codé **F80**). Cette entité a été subdivisée en 2 unités aquifères de niveau 3:

Sables du Néocomien de l'Hauterivien/Barrémien (Est région Centre)	F80_2
Calcaires du Néocomien de l'Hauterivien/Barrémien (SE région Centre)	F8_O1

A l'est de la région, les calcaires sont séparés, au moins localement, par une couche de marnes imperméables, sans que celle-ci puisse être précisément cartographiée.

Le Néocomien regroupe en région Centre les formations de l'Hauterivien et du Barrémien. Ces formations s'étendent sur toute la partie est de la région et constituent l'un des objectifs de recherche pétrolière dans la région. L'épaisseur dépasse rarement les 20 mètres. La profondeur de 700 m et plus ne permet pas de limiter d'une façon sûre la limite ouest, car très peu d'ouvrages existent à cette profondeur.

## 5.3. ENTITÉS DU SECONDAIRE: LE JURASSIQUE

Les différents niveaux calcaires du Jurassique sont précisés dans le tableau ci-dessous (illustration 33).

Etage géologique					Calcaire	
					compact	poreux
Jurassique supérieur	Malm	Tithonien	Tithonien supérieur			
			Tithonien moyen			
			Tithonien inférieur			
		Kimméridgien	Kimméridgien supérieur			
			Kimméridgien inférieur	Séquanien		
			Oxfordien	Oxfordien supérieur	Rauracien	
	Oxfordien	Oxfordien moyen	Argovien			
		Oxfordien inférieur				
Jurassique moyen	Dogger	Callovien	Callovien supérieur			
			Callovien moyen			
			Callovien inférieur			
		Bathonien	Bathonien supérieur			
			Bathonien moyen			
			Bathonien inférieur			
	Bajocien	Bajocien supérieur				
		Bajocien inférieur				
	Aalénien					
	Jurassique inférieur	Lias	Toarcien			
Pliensbachien			Domérien			
			Carixien			
Sinnémurien						
Hettangien						

Illustration 33 – Répartition des niveaux calcaires dans le Jurassique. Rapport BRGM/RP-51887-FR (2002)

### 5.3.1. Les Calcaires du Tithonien (anc. Portlandien/faciès Purbeckien)

Ces calcaires sont différenciés en deux systèmes aquifères de niveau 2:

- **Calcaires du Tithonien supérieur (F9K)**
- **Calcaire du Tithonien inférieur (F9L)**

Le premier a été subdivisé au niveau 3 en 2 unités aquifères et une unité semi-perméable. Le second n'a pas fait l'objet d'une différenciation et a été reconduit au niveau 3.

Dolomies du Tithonien supérieur (NE région Centre)	F9K_3
Calcaires et Oolithes du Tithonien (NE région Centre)	F9K_2
Facies marneux et barre lithographique du Tithonien inférieur (NE région Centre)	F9K_1
Calcaires du Tithonien inférieur	F9L_1

Les deux unités aquifères *Dolomies du Tithonien supérieur* (F9K\_3) et *Calcaires et Oolithes du Tithonien supérieur* (F9K\_2) s'étendent au nord-ouest de la région, au nord de Montargis. Autour de Montargis, l'unité semi-perméable des *Facies marneux et barre lithographique* (F9K\_1) peut atteindre plus de 20 m d'épaisseur et former ainsi une éponte séparant les unités aquifères.

Les Calcaires du Tithonien inférieur (F9L\_1) couvrent la moitié de la région Centre du nord-est jusqu'aux affleurements au niveau de Vierzon. De nombreux forages sont exploités comme AEP autour de Montargis.

Les Calcaires du Tithonien, qui forment la côte du Pays-Fort dans le Cher, sont compacts et ne constituent pas un réservoir capacitif. Les quelques sources qui y naissent ne sont que les exutoires du réservoir sableux du Crétacé sus-jacent et des zones fracturées.

### 5.3.2. Marnes du Kimméridgien

Ces marnes constituent au niveau 2 un domaine (codé **F10D**). Au niveau 3 elles ont été subdivisées en deux unités: une unité imperméable, présente au sud de la région (F10D\_2) et une unité semi-perméable (F10D\_1) qui s'étend sur le centre et le nord de la région.

Marnes et Calcaires du Kimméridgien (Sud région Centre)	F10D_2
Calcaires et Marnes du Kimméridgien	F10D_1

Ces marnes constituent la couverture de l'assise des calcaires du Kimméridgien. Elles ne constituent pas une ressource en eau connue. Néanmoins, les couches intercalées de calcaires (calcaires blancs supérieurs et inférieurs) pourraient constituer un réservoir aquifère.

### 5.3.3. Calcaires du Kimméridgien inférieur et de l'Oxfordien

Ces calcaires constituent au niveau 2 un système aquifère (codé **F10E**). Au niveau 3 ils ont été subdivisés en deux unités: une unité aquifère (F10E\_2) et une unité semi-perméable (F10E\_1).

Calcaires affleurants du Kimméridgien et de l'Oxfordien (Sud région Centre)	F10E_2
Calcaires non affleurants du Kimméridgien et de l'Oxfordien	F10E_1

Ces deux unités sont constituées par la superposition de couches de calcaires de différents types (calcaires de Tonnerre, calcaires crayeux, calcaires oolithiques, calcaires compacts).

Les réservoirs aquifères correspondent aux bancs calcaires, qui sont en général compacts et non capacitifs, sauf dans les zones fracturées et fissurées. Celles-ci peuvent même se révéler karstiques [Maget al., 2002]. Par contre, les calcaires oolithiques et récifaux, ainsi que des zones érodées résiduelles, peuvent être localement capacitifs. En dehors de ces zones, les calcaires sont seulement exploitables à proximité de la surface. Sous couverture, ils sont compacts et imperméables.

Les Calcaires de l'Oxfordien, forment le vaste platier qui caractérise au sud la Champagne berrichonne, dans les départements de l'Indre et du Cher. Ils renferment dans leur partie supérieure des horizons aquifères, mais d'une façon discontinue, le long de fractures ou d'axes d'altération. Très localement, ces calcaires peuvent avoir une bonne porosité (Calcaires de Morthomiers près de Bourges, calcaires récifaux près de Le Blanc). Leur partie inférieure (calcaires lités inférieurs) ne sont plus aquifères.

Les bancs calcaires aquifères sont très peu épais, donc peu capacitifs, mais très transmissifs, la circulation se faisant le long des failles. La nappe est alimentée par les pluies sur les plateaux et elle est drainée par les rivières. Les fluctuations saisonnières de la nappe sont très fortes au centre des plateaux.

Sans couverture protectrice, dans un milieu non filtrant, cette nappe est très vulnérable aux activités de surface et très contaminée.

Dans cette région, l'aquifère de l'Oxfordien est l'unique ressource accessible pour les différents usages (eau potable, agriculture, industrie). En raison de sa pollution presque généralisée, le seul recours pour l'alimentation en eau potable est "l'importation" de l'eau de la nappe alluviale de la Loire à plus de 50 km de Bourges.

A l'ouest de la région Centre, les calcaires du Jurassique n'apparaissent que très localement à la faveur de structures anticlinales faillées. On y trouve quelques captages, mais ce réservoir très discontinu est mal connu.

Les débits spécifiques des calcaires du kimméridgien inférieur (Astartien) peuvent dépasser 4 m<sup>3</sup>/h/m et atteindre 15 m<sup>3</sup>/h/m et sont utilisés comme AEP. Ceux des calcaires de l'Oxfordien supérieur ("Rauracien") peuvent atteindre 7 m<sup>3</sup>/hm.

Ce réservoir est limité à son toit par les marnes du Kimméridgien et à son mur par les marnes de l'Oxfordien inférieur.

#### 5.3.4. Calcaires argileux de l'Oxfordien

Ils constituent un domaine au niveau 2 (codé **F10F**); une seule entité, semi-perméable, a été définie au niveau 3 (**F10F\_1**). Cette entité affleure au sud des calcaires de l'Oxfordien. Il s'agit d'une zone de transition entre l'aquifère sus-jacent et l'unité imperméable des marnes Callovo-Oxfordiennes. En raison de faciès variés, avec argiles et marnes intercalées entre les bancs de calcaire, on peut considérer qu'il s'agit d'un aquifère multicouche. Son extension est comparable à l'aquifère des calcaires.

#### 5.3.5. Marnes Callovo-Oxfordiennes

Elles constituent un domaine au niveau 2 (codé **F10G**) et une unité imperméable au niveau 3.

Elles forment le mur de l'aquifère calcaire de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien. (F10E et F10F) et s'étendent sur toute la région jusqu'aux affleurements au sud de la région.

#### 5.3.6. Calcaires et Marnes du Dogger (Bathonien à Callovien)

Au niveau 2, 4 entités sont distingués dans ces formations : 2 systèmes aquifères:

- les **Calcaires du Bathonien-Callovien** (F11KLMOR),
- les **Calcaires de l'Aalénien-Bajocien** (F11T),

et 2 domaines:

- le Sillon marneux du Dogger (F11A)
- les marnes du Bajocien (F11S).

Sillon marneux du Bathonien-Callovien	F11A_1
Calcaires du Bathonien-Callovien	F11KLMOR_1
Marnes du Bajocien (NE région Centre)	F11S_1
Calcaires de l'Aalénien-Bajocien	F11T_1

Les différents faciès du Dogger sont précisés par l'illustration 34 ci-après.

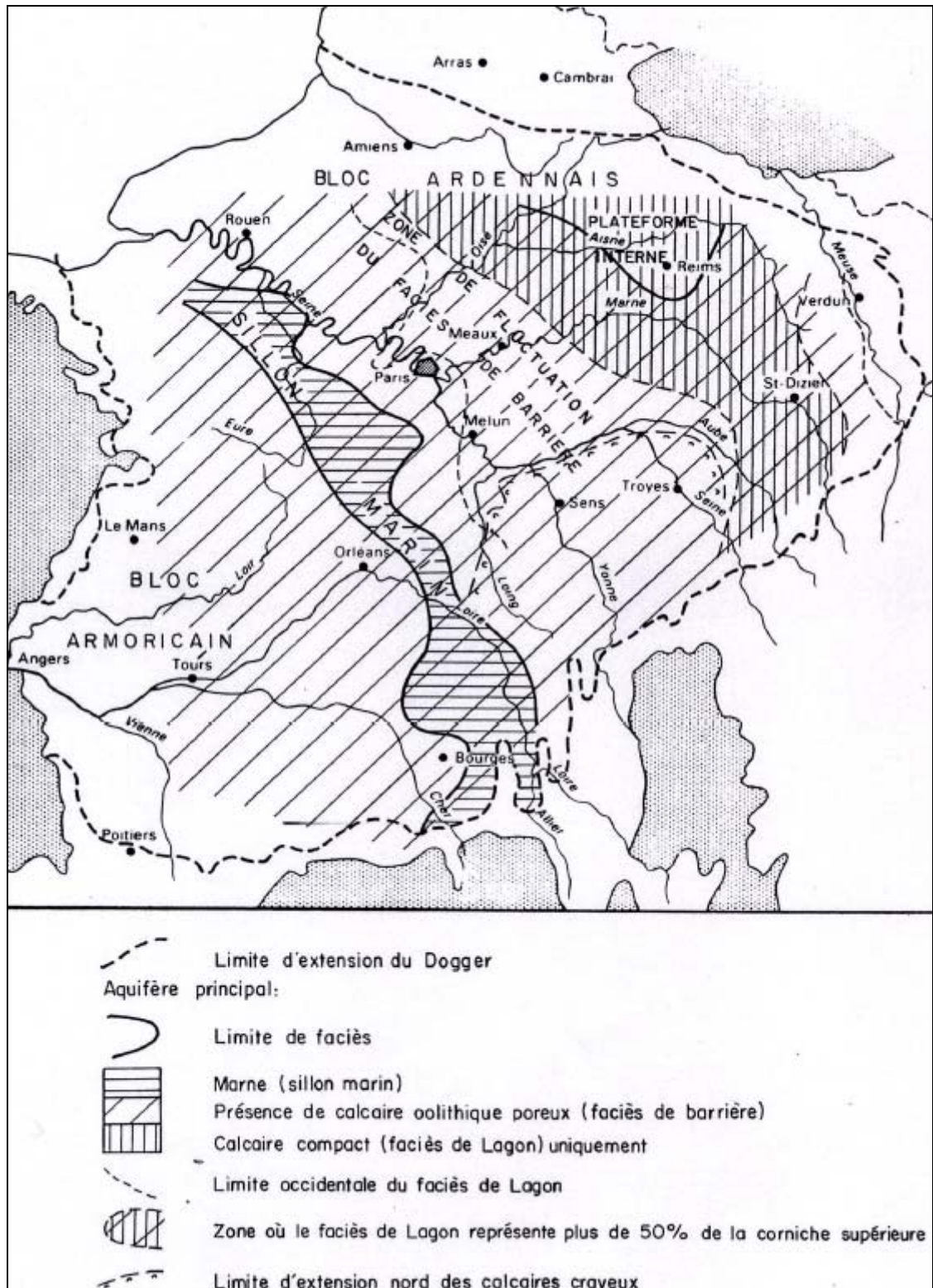


Illustration 34 - Répartition des faciès du Dogger dans le Bassin Parisien (Rapport BRGM/RP-51887-FR - 2002)

A l'approche du Massif Central, les couches géologiques se redressent: la carte géologique montre une double barre en arc de cercle correspondant aux calcaires du Bathonien et ceux du Bajocien.

Dans le Cher, ces calcaires sont intrinsèquement compacts mais renferment de l'eau dans les secteurs fracturés; c'est donc un aquifère discontinu et peu capacitif. A l'ouest de la rivière du Cher, la barre supérieure calcaire renferme des bancs oolithiques et récifaux, formant ainsi un réservoir plus homogène. Le calcaire peut être karstifié (secteur de Saint-Gautier par exemple), même sous la couverture détritique de la Brenne; le karst est alors envahi par du sable et de l'argile.

Alimentée aux affleurements, la nappe s'écoule vers le nord ; lorsqu'elle est profonde, l'eau peut jaillir par artésianisme (Saint-Ambroix, Dun-sur-Auron, ...).

La productivité est extrêmement variable, du fait du caractère discontinu de ce réservoir: les débits peuvent être très faibles mais peuvent aussi dépasser 100 m<sup>3</sup>/h. La recherche d'une ressource nécessite le repérage d'axes fracturés, à l'aide de méthodes géophysiques. Les débits peuvent être très élevés lorsque le calcaire est plus poreux, comme à Lureuil (400 m<sup>3</sup>/h).

La qualité de l'eau dépend de la profondeur de la nappe, de la karstification et de sa protection. Près des affleurements, à Argenton-sur-Creuse, l'eau est peu calcaire avec un pH neutre ; en domaine profond, comme à Luant (36), l'eau est dure, avec un pH basique. En domaine très profond, l'eau s'est révélée trop minéralisée (Saint-Florent-sur-Cher, Bourges).

L'eau du Dogger constitue la principale ressource dans l'Indre au sud de Châteauroux, pour tous les usages. Dans le Cher, les captages par forage sont peu nombreux même près des affleurements et le risque d'échec relativement élevé ; en domaine profond, l'eau est utilisée presque exclusivement pour l'eau potable (Dun-sur-Auron, Saint-Ambroix, ...).

### **5.3.7. Calcaires et sillon marneux du Dogger (Bathonien)**

Cette unité aquifère (F11KLMOR) est constituée de différentes formations calcaires du Bathonien (une dalle calcaire, des oolithes et des calcaires graveleux) qui sont en communication hydraulique et constituent donc un aquifère unique.

Cet aquifère est "traversé" par un sillon marneux (F11A), où seuls des matériaux argileux imperméables se sont accumulés. Quelques forages à l'extrémité sud de la région ont rencontré cette formation dont les contours ont été repris de travaux anciens [MAGET, 1976, et BRGM, 1980] exploitant l'information apportée par des forages pétroliers.

### **5.3.8. Marnes du Bajocien**

Les Marnes du Bajociens (F11S) s'étendent à l'est du département, où elles séparent les deux unités aquifères des calcaires du Dogger

Ces marnes du Bajocien constituent l'assise des calcaires sus-jacents du Bathonien-Bajocien et sont vers le sud remplacées par les marnes du sillon du Bathonien.

### 5.3.9. Calcaires du Dogger (Aalénien-Bajocien)

Ces calcaires (F11T), aquifères, s'étendent dans toute la région jusqu'aux affleurements au sud. Les épaisseurs se réduisent fortement à l'ouest de Tours (inférieures à 20 m).

### 5.3.10. Marnes du Lias supérieur

Cette entité imperméable du Jurassique (F12A\_1) comprend différentes couches de marnes, argiles et schistes (schistes cartons), connus pour leur imperméabilité et constituant une excellente protection des aquifères sous-jacents. Elle s'étend dans toute dans la région Centre.

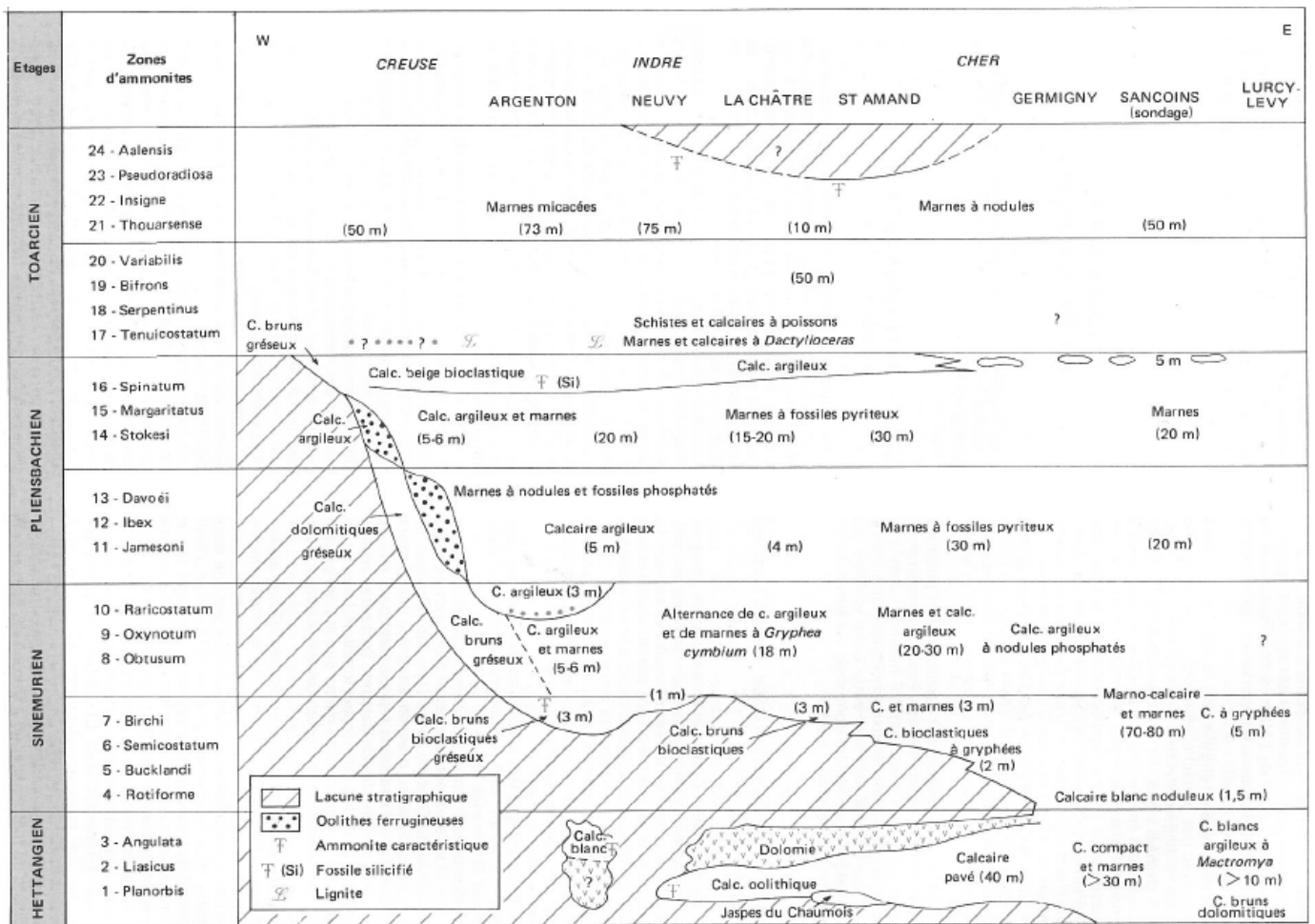


Illustration 35 - Lithofaciès du Lias dans l'Indre et le Cher (Rapport BRGM/RP-51887-FR – 2002)

### 5.3.11. Calcaires argileux du Lias inférieur

Les formations du Lias inférieur sont découpées en deux entités, une entité semi-perméable de calcaires plus ou moins argileux (F13A\_1), et une entité imperméable d'argiles (F13A\_2).

F13A_2	Argiles du Lias inférieur (Est région Centre)
F13A_1	Calcaires argileux et bioclastiques du Lias de Sologne, du Berry et de Bourgogne

L'entité semi-perméable (F13A\_1) est constituée de différentes formations calcaires: calcaires bioclastiques, calcaires argileux, calcaires et dolomies. Ces formations affleurent sur une fine bande entre les formations du Trias au sud et les marnes du Lias supérieur au nord.

La barre calcaire s'est révélée aquifère seulement près du Châtelet, au sud-ouest de Saint-Amand-Montrond dans le Cher. Ailleurs, elle n'est atteinte que par des puits anciens aux affleurements. Cette formation, compacte et d'épaisseur très réduite (environ 5 mètres) ne peut que constituer un très médiocre réservoir aquifère.

Vers l'est de la région, les calcaires deviennent de plus en plus argileux et laissent place à des argiles à l'extrémité est. Ces argiles ont été délimitées en tant qu'entité imperméable (F13A\_2).

## 5.4. ENTITÉS DU SECONDAIRE: LE TRIAS

Tout au sud, contre le "Socle" du Massif Central, affleurent les Sables et Grès du Trias. Dans l'Indre, ils apparaissent à l'est de Chaillac et affleurent en un fin liseré très peu épais, constituant un médiocre aquifère ; mais cette formation devient de plus en plus sableuse et s'épaissit en plongeant vers le nord où elle constitue un excellent réservoir (Maillet, Châteauroux, Contres dans le Loir-et-Cher). Dans le Cher, les sables se révèlent trop cimentés ou trop argileux pour constituer un réservoir [Bouchot et al. 2008].

### 5.4.1. Grès et Argiles du Keuper (Trias)

Ces formations constituent un système aquifère au niveau 2 (codé **F14A**), subdivisé au niveau 3 en une unité aquifère et une unité imperméable:

Dépôts argileux du Permo-Trias en Eure-et-Loir	F14A_2
Grès du Keuper	F14A_1

L'entité aquifère des *Grès du Keuper* correspond à des faciès détritiques grossiers. Elle s'étend sur pratiquement toute la région jusqu'à la limite sud des affleurements, où se trouvent les seuls forages qui la captent.

Au nord-ouest des dépôts argileux s'intercalent entre les grès (F14A\_2), mais leur limite est peu connue [BRGM, 1980]. Les seuls forages qui attestent leur présence sont situés à l'extrême sud.

### 5.4.2. Argiles, dolomie et grès du trias moyen à supérieur

Le système aquifère du Trias moyen à supérieur (codé F15A) est subdivisé en deux unités:

- l'unité imperméable des *Argiles bariolées* (F15A\_2),
- l'unité aquifère des *Dolomies et Grès du Trias moyen à supérieur* (F15A\_1).

Argiles bariolées du Trias moyen à supérieur (Est région Centre)	F15A_2
Dolomies et Grès du Trias moyen à supérieur	F15A_1

Les Argiles du Keuper à l'est de la région séparent les couches des Grès triasiques des Grès et Dolomies du Muschelkalk. Des forages attestent la présence de cette couche de plusieurs dizaines de mètres au nord-est de la région (argiles bariolées).

Dans les Grès, la nappe s'écoule vers le nord; captive, elle est artésienne sur la plupart des captages profonds. Elle s'abaisse localement sous l'effet de pompages intenses (baisse de 7 m en 30 ans à Cluis dans le département de l'Indre).

La productivité est faible aux affleurements où l'épaisseur des sables est réduite ; mais elle augmente progressivement avec la profondeur : à Maillet, les débits atteignent 70 m<sup>3</sup>/h - avec un débit spécifique de 2 m<sup>3</sup>/h/m - et le forage de Châteauroux a fourni 160 m<sup>3</sup>/h.

La composition chimique de l'eau est très variable, traduisant la complexité des circulations : pH de 6,5 à 7,8, dureté de 13 à 30°. La qualité de l'eau est bonne, sauf au nord de Chaillac où s'étend un panache à forte teneur en fluor. A grande profondeur, l'eau devient salée et chaude.

En raison de la bonne protection de l'aquifère, mais hors du panache fluoré, l'eau du Trias est exploitée pour l'AEP dans le département de l'Indre (région de Maillet). La nappe n'est pas sollicitée pour l'agriculture, en raison de sa trop faible productivité près des affleurements et du coût trop élevé des captages à plus grande profondeur. A Châteauroux, l'eau à 31° est captée pour le chauffage urbain.

## 5.5. ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES COMPLÉMENTAIRES

### 5.5.1. Alluvions

#### • Les alluvions modernes de l'Holocène (Fz-Fy)

Elles sont composées de graviers, sables, limons, tourbes, travertins. L'épaisseur des alluvions récents peut localement atteindre ou dépasser 10 m au niveau de la Loire, du Loir, de la Grande Sauldre et du Cher, mais est le plus souvent réduite à quelques mètres. Les alluvions des autres cours d'eau de la région ne dépassent en général pas les 5 mètres. Les aquifères de faible profondeur sont alimentés par les cours d'eau.

#### • Les alluvions anciennes du Pléistocène (Fx-Fy)

Elles sont composées de graviers, sables, limon ou argile, l'épaisseur des alluvions de moyennes terrasses est généralement de quelques mètres (i.e. 3 à 5 m dans la vallée du Loir et 4 m le long du Cher).

#### • Les alluvions des hautes terrasses (Pléistocène) (Ftuw) :

Elles ont une composition comparable à celle des alluvions anciennes; l'épaisseur de ces dépôts, dont une partie a été reprise par l'érosion, est faible (quelques décimètres à quelques mètres en général). On distingue 4 classes suivant leurs hauteurs par rapport à la rivière actuelle :

- Ft : alluvions anciennes, terrasses supérieures à 60 m
- Fu : alluvions anciennes, terrasses supérieures à 40 m
- Fv : alluvions des très hautes terrasses, 30 à 40 m
- Fw : alluvions des hautes terrasses, 10 à 30 m

• **Autres types d'alluvions (F-Fm) :**

- Certaines alluvions anciennes du Pléistocène ne sont pas déterminées (F).
- Les alluvions fluvio-lacustres de la Marmande (Fm) sont situées en amont de la vallée du Cher au sud de la région. En plus des sables, graviers et limons, elles ont en plus une composition de tourbe et de travertin.

**5.5.2. Aires productives des alluvions**

Les alluvions peuvent former des réservoirs aquifères si la granulométrie est assez grossière (sables et graviers). En région centre, ces aires productives se localisent dans:

- les Alluvions modernes de l'Holocène (Fz-Fy),
- les Alluvions anciens du Pléistocène (Fx-Fy),
- certaines alluvions des hautes terrasses (Pléistocène) (+10-+30 m, Fw)

Sept corps alluvionnaires aquifères ont été délimités:

Alluvions de la Loire en contact avec la roche du substratum	S1A_1a
Alluvions de la Loire non connectés au substratum	S1A_1b
Alluvions du Cher	S1A_2
Alluvions de l'Indre	S1A_3
Alluvions de la Vienne	S1A_4
Alluvions du Loir	S1A_5
Alluvions de l'Eure	S1A_6
Alluvions de l'ancienne vallée de la Loire (Montargis)	S1A_7

Remarque:

Ce travail a nécessité une importante analyse: cartes géologiques, cartographie des possibilités d'Exploitation de l'Eau souterraine par pompe à chaleur (MAGET et al, 1987) et divers autres rapports sur les alluvions (TALBOT, 1970). Les limites se basent également sur la carte géologique harmonisée, tous les bras secondaires des alluvions ont été généralement découpés afin de ne garder que les corps alluvionnaires principaux, qui sont les plus perméables (les bras plus fins, plus proches de la source d'érosion étant plus chargés de sédiments fins et donc moins perméables et exploitables).

## Alluvions de la Loire

Ces alluvions sont les plus étendues de la région avec une superficie de plus de 2000 km<sup>2</sup>.

Elles reposent en presque totalité sur les calcaires et la craie (de la Beauce dans la partie centrale, les calcaires de l'Oxfordien à l'est et sur la craie Séno-Turonienne à l'ouest), avec en général une épaisseur relativement faible, de 4 à 12 m. Pour cette raison, les forages les traversent fréquemment pour renforcer leur productivité en sollicitant la formation sous-jacente, qui est en générale plus perméable que les alluvions (transmissivité des alluvions de 1 à  $5 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s ou moins). Les pompages d'essais fournissent donc des valeurs de transmissivité qui intègrent à la fois les alluvions et la roche sous-jacente.

A l'est d'Orléans, les alluvions sont séparées sur toute la largeur des roches calcaires par une couche d'argile imperméable de plusieurs mètres. Dans cette zone, seul le réservoir alluvionnaire est exploité sans atteindre la roche sous-jacente. La plupart des captages dans les alluvions de la Loire sont ainsi situés en amont d'Orléans.

Entre Orléans et Sully, les alluvions sont en communication avec un réseau karstique bien développé favorisant des circulations relativement rapides alimentées aussi par des pertes de la Loire. La source du Loiret est ainsi une résurgence.

## Autres réservoirs alluvionnaires de la région

Six autres secteurs alluvionnaires ont des potentialités aquifères significatives: les alluvions du Cher, de l'Indre, de la Vienne, du Loire, de l'Eure et, à proximité de Montargis, les alluvions anciennes de la Loire avant changement du lit actuel.

La majorité des forages ont des débits spécifiques compris entre 10 et 50 m<sup>3</sup>/h/m.

Lorsque les alluvions reposent sur les formations calcaires de Beauce ou sur la Craie, (cas général), les débits spécifiques sont compris entre 30 et 160 m<sup>3</sup>/h/m. Lorsque les alluvions reposent sur des formations argileuses, les débits spécifiques ne dépassent pas 10 m<sup>3</sup>/h/m [MAGET, 1987].

La transmissivité de ces systèmes alluviaux est estimée entre  $10^{-2}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s [MARTIN et al., 2007 et BRGM, notices géologiques].

Les alluvions du Cher, au niveau de Saint Amand Montrond, forment un aquifère avec une transmissivité comprise entre 20 et 30 m<sup>3</sup>/h/m et jusqu'à 90 m<sup>3</sup>/h/m pour les forages situés dans les alluvions les plus grossiers. La profondeur de la zone saturée est d'environ 4 m en moyenne.

Les pompages dans les alluvions récentes sont assez nombreux surtout dans la nappe alluviale de la Loire mais aussi dans celle de l'Indre et du Cher et de leurs affluents. Les alluvions de l'Eure et du Loir sont par contre peu exploitées. Les puits situés dans ces alluvions fournissent une eau peu minéralisée.

### 5.5.3. Les argiles à silex (cf. entité F5B)

Certaines zones des argiles à Silex, normalement imperméables ou semi-perméables, peuvent être lessivées si bien qu'il ne reste plus que les silex sans l'argile.

A l'est de la Sologne, près d'Aubigny-sur-Nère, cette formation constitue un très bon aquifère avec des débits qui peuvent dépasser les 100 m<sup>3</sup>/h. Par contre, l'extension de cet aquifère est très limitée (environ 100 km<sup>2</sup>) et mal connue [MAGET, 1987].

#### **5.5.4. Les Karsts de la Loire (cf. entité F3C\_3)**

Les Karsts de la Loire influencent fortement l'écoulement

- de l'aquifère calcaire sous-jacente des alluvions de la Loire et
- de la connexion entre l'aquifère et la Loire (pertes dans la Loire et sources)

L'étude de la sensibilité des terrains vis-à-vis du phénomène karstique [DONSIMONI, 2008] a permis de cartographier ces zones. Les entités a priori karstiques retenues sont celles considérées dans l'étude de Donsimoni comme ayant une sensibilité moyenne à forte à la dissolution du substratum, critère combiné avec celui d'une faible épaisseur des recouvrements.

...

## 6. Conclusion

Le référentiel hydrogéologique présenté dans ce rapport concerne les formations sédimentaires de la région Centre dans les bassins Loire-Bretagne et Seine-Normandie, mais il se prolonge aussi, pour des raisons de continuité des entités hydrogéologiques, sur une petite partie de la région Ile-de-France. Il est constitué de :

- **70 entités de niveau local (NV3) ;**
- **36 systèmes ou domaines du niveau régional (NV2) ;**
- **14 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1).**

A ces entités dites "principales" s'ajoutent des entités dites "complémentaires" constituant une surcouche du référentiel. Elles regroupent des formations 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. Dans le référentiel Centre sont notamment rangées dans ce groupe:

- les aires productives de ces alluvions,
- les aires karstiques de la vallée de la Loire.
- les systèmes alluvionnaires (transverses par rapport aux entités principales),

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

L'extrémité sud de la région (environ 1000 km<sup>2</sup>), située en domaine de socle, a été traitée en continuité avec les entités de socle de la région Limousin.

A ce "rapport régional" succèdera un rapport de synthèse présentant l'ensemble du référentiel dans le bassin Loire-Bretagne, référentiel dans lequel un code national sera affecté à chaque entité.

### Remarque

Les entités de niveau 1 ont été définies sur la base du travail déjà réalisé en région Centre en année 1 du projet national (délimitation des entités de niveau 1 et 2, rapport BRGM RP-56055-FR). Mais, pour être en cohérence avec les regroupements faits par ailleurs dans le Bassin Parisien, un regroupement légèrement différent des entités de niveau 2 de la région est proposé, conduisant à 15 ensembles NV1 (cf tableau multi-échelles en annexe).

...



## 7. Références bibliographiques

### Documents généraux sur le référentiel

Petit V., Hanot F., Pointet T. – 2003 - Référentiel hydrogéologique BDRHF-V2. Guide méthodologique de découpage des entités. Rapport BRGM RP-52261-FR

Petit V. Rapport BRGM/RP-52967 - 2004 - BDRHF - Découpage préalable et global. CDROM des documents. Présentation du contenu. Rapport BRGM/RP-53127

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

### Synthèses et atlas

Collectif – 1980 - Synthèse géologique du Bassin de Paris. Mémoire BRGM n° 102

Maget Ph. – 1976 - Potentiel géothermique du Bassin Parisien. Atlas et Compte Rendu BRGM/ELF Aquitaine

Martin J.C., Bacquet I., Tourliere B., Gomez E., Gateau C – 2007 - Atlas sur la géothermie très basse énergie en région Centre. Rapport BRGM/RP-55088-FR.

Mégnyen C. – 1979 - Hydrogéologie du Centre du bassin de Paris. Mémoire BRGM n° 98.

### Rapports BRGM

Bouchot V., Bialkowski A., Lopez S. Ossi A. - 2008 – Evaluation du potentiel géothermique des réservoirs clastiques du Trias du Bassin de Paris. Rapport BRGM/RP-56463-FR

Bouchot V., Giot D., Cruz Mermey D. – 2004 – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Loir-et-Cher. Rapport BRGM/RP-52950-FR

BRGM – 1996 – Bassin Seine-Normandie – Synthèse hydrogéologique du Crétacé inférieur- Rapport BRGM R38827 SGR/IDF

Donsimoni M., Berthier H., Martin, J.-C., Nachbaur A. – 2008 – Détermination de la présence de karsts sous les levées domaniales du bassin de la Loire et réduction du risque d'effondrement de la digue lié à la présence de ces conduits souterrains naturels. Rapport BRGM RP-55711-FR

Gutierrez A., Rabier M. – 2003 – Détermination du bassin d'alimentation des captages du SIPTEC aux calcaires de Touraine. Rapport BRGM/RP-52501-FR

Maget Ph. – 1987- Cartographie des possibilités d'exploitation de l'eau souterraine par pompe à chaleur – BRGM

Maget Ph. - 2002 – Etude des nappes du Jurassique dans les départements du Cher et de l'Indre. Phase 1. Acquisition des données. Rapport BRGM RP-51887-FR

Maget Ph., Herrouin J.P., Ferec Y., Colleau A., Le Boucher E., Baudouin V., Bailly Compte V., Afzali H. - 2002 –Étude des nappes du Jurassique dans les départements du Cher et de l'Indre. Rapport BRGM RP-51887-FR

Martin J.C., Giot D., Le Nindre Y.M. – 1999 – Etudes préalables à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce. Géométrie du réservoir et limites de la nappe de Beauce – Rapport BRGM R40571 avec Atlas.

Martin J.C., Robelin C., Zammit C. - 2007 – Référentiel Hydrogéologique Français - BD RHF Version 2 – Bassin Loire Bretagne. Année 1 - Délimitation des entités hydrogéologiques en région Centre. BRGM/RP-56055-FR

SOGREAH – 2004 – *Programme d'études et de modélisation pour la gestion de la nappe du Cénomanién*. Rapport de fin de phase 1.

SOGREAH – 2007 – Programme d'étude et de modélisation pour la gestion de la nappe du Cénomanién. Rapport définitif N°2730117

Talbo H. – 1970 – Formations aquifères en relation avec la Loire de Nevers à Nantes – Rapport BRGM 70 SGN294HYD

Rusciadelli G. – 1996 – Stratigraphie séquentielle et modélisation de l'espace disponible du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur du Bassin de Paris. Thèse de l'Université de Paris Sud, UFR scientifique d'Orsay.

Vernoux J.F., Maget Ph., Donsimoni M., Blanchin R., Afzali H., Vairon J. – 1997 – Synthèse hydrogéologique du Crétacé inférieur du bassin de Paris. Rapport BRGM/R39702

Vernoux J.F., Neol Y. – 2003 – Aquifère des Calcaires de Champigny – Synthèse des connaissances relatives aux écoulements de la nappe et aux relations nappe-rivière – Rapport BRGM RP-52366-FR

## **Cartes**

BRGM – Carte géologique harmonisée 1/50 000 de la région Centre et la région IDF

BRGM - Notices des cartes géologiques 1/50 000 de la région

## **Annexe 1- Tableau Multi-échelles**



NV1	NV2		NV3						
Libellé Provisoire Entité	Code Provisoire Entité	Libellé Provisoire Entité	Code Provisoire Entité	Libellé Provisoire Entité	Code Provisoire Entité	Libellé Provisoire Entité	Code Provisoire Entité	Libellé Provisoire Entité	
GDH du Mio-Pliocène	F2A	Sables et Argiles du Bourbonnais	F2A_3	100	Sables argileux d'Ardentes du Pliocène	2	6	1	
			F2A_2	100	Sables et Argiles du Bourbonnais du Mio-Pliocène	2	6	1	
			F2A_1	100	Sables de Lozère du Mio-Pliocène	2	6	1	
	F2B	Faluns de Touraine et du Blesois	F2B_1	200	Faluns de Touraine et de du Blésois du Miocène inférieur	2	5	1	
	F2C	Formations de Sologne	F2C_3	300	Sable de Montreuil du Serravallien	2	5	1	
			F2C_2	300	Sables et Argiles de Sologne du Burdigalien	2	6	1	
			F2C_1	400	Marnes, Argiles et Sables de l'Orléanais et du Blésois du Burdigalien	2	7	1	
	GSM de l'Oligo-Miocène	F3C	Calcaires de Beauce	F3C_3	500	Calcaires de l'Orléanais et de Pithiviers de l'Aquitainien	2	5	2
				F3C_2	600	Molasse du Gâtinais de l'Oligo-Miocène	2	7	1
F3C_1				700	Calcaires d'Etampes (Calcaires du Gâtinais) de l'Oligocène	2	5	2	
F3A		Sables de Fontainebleau	F3A_3	800	Sables et Grès de Fontainebleau du Rupélien	2	5	1	
			F3A_2	900	Marnes à huîtres et Molasse d'Etrechy du Rupélien	2	7	1	
			F3A_1	1000	Calcaires de Brie du Rupélien	2	5	2	
F3F		Marnes vertes et Marnes supra-gypseuses	F3F_1	1100	Marnes vertes et supragypseuses du Rupélien	2	7	1	
GSM de l'Eocène		F4C	Calcaires lacustres de l'Eocène	F4C_2	1200	Calcaires de Briare de l'Eocène supérieur	2	6	2
				F4C_1	1200	Calcaires lacustres de l'Eocène	2	6	2
	F4D	Calcaires d'Anjou, de Berry et de Touraine	F4D_2	1300	Calcaires lacustres du Berry du Priabonien	2	5	2	
			F4D_1	1300	Calcaires lacustres de Touraine et d'Anjou de l'Eocène supérieur	2	5	2	
	F4E	Calcaires de Saint-Ouen et Sables de Monceau	F4E_3	1400	Calcaires de Champigny du Priabonien	2	5	2	
			F4E_2	1500	Calcaires de Saint-Ouen du Bartonien	2	5	2	
			F4E_1	1600	Sables de Monceau et de Beauchamp du Bartonien	2	5	1	
	F4F	Sidérolithique et formations de Brenne à substrat Eocène	F4F_1	1700	Sables et Argiles de Brenne du Bartonien	2	6	1	
	F4G	Calcaires, Poudingues, Marnes et Caillasses de l'Eocène moyen et inférieur	F4G_5	1800	Marnes et Caillasses du Lutétien au nord de la Beauce	2	6	1	
			F4G_4	1900	Calcaires grossiers du nord de la Beauce	2	5	1	
			F4G_3	2000	Sables et Grès du Breuillet (Arkose du Breuillet) du Lutétien	2	5	1	



NV1	NV2		NV3					
Libellé Provisoire Entité	Code Provisoire Entité	Libellé Provisoire Entité	Code Provisoire Entité	Ordre d'apparition	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Milieu
			F4G_6	2100	Argiles de Lignièrès et Cailloutis à Chailles de l'Eocène	2	7	1
			F4G_2	2100	Formation à Chailles du Loing et Poudingue de Nemours de l'Eocène	2	6	1
			F4G_1	2100	Poudingue de Gien de l'Eocène inférieur	2	6	1
<b>GDH du Paléocène au Crétacé sup.</b>	F5B	Argiles à Silex post Campanien	F5B_2	2200	Formations détritiques continentales, sables et argiles à silex post-Campanien	2	7	1
			F5B_1	2300	Marnes et formations argilo-siliceuses post Campanien (SO région Centre)	2	6	1
<b>GSM des Craies et Marnes du Campanien au Turonien (Séno-Turonien)</b>	F6U	Craie du Séno-Turonien	F6U_3	2400	Craie du Sénonien	2	5	4
			F6U_X	2500	Craie du Turonien	2	5	4
			F6U_5	2500	Tuffeau jaune du Turonien moyen à supérieur (SO région Centre)	2	5	4
			F6U_8	2600	Craie micacée et Tuffeau blanc du Turonien moyen (SO région Centre)	2	5	4
	F6X	Craie marneuse du Turonien inférieur	F6X_1	2700	Craie marneuse du Turonien inférieur	2	6	4
<b>GSM des Sables et Grès du Cénomanién</b>	F7B	Marnes à Ostracées et Actinocamax plenus sus-jacentes aux Sables du Perche	F7B_X	2800	Marnes à Ostracées et Actinocamax plenus du Cénomanién supérieur	2	7	1
	F7A	Sables du Cénomanién	F7A_3	2900	Sables du Perche du Cénomanién supérieur (Ouest région Centre)	2	5	1
			F7A_7	3000	Marnes de Bouffry du Cénomanién supérieur (Ouest région Centre)	2	6	1
			F7A_8	3100	Sables et grès de Vierzon, Maine, Mans, Varenne du Cénomanién inférieur à moyen	2	5	1
			F7A_9	3200	Sables et Grès de Lamnay et Trugalle du Cénomanién inférieur (Ouest région Centre)	2	5	1
	F7C	Marnes et Craies marneuses du Cénomanién	F7C_Y	3300	Craie du Cénomanién (Nord région Centre)	2	5	4
<b>GD des Argiles, Marnes et Gaizes du Cénomanién inf. et de l'Albien sup.</b>	F7D	Marnes et Gaize du Cénomanién	F7D_1	3400	Marnes glauconieuses et Gaize du Cénomanién	2	7	1
	F8G	Argiles du Gault et Marnes de Brienne	F8G_1	3500	Argiles de l'Albien moyen à supérieur (Nord région Centre)	2	7	1
<b>GSM du Crétacé inf. (Albien à Néocomien)</b>	F8HIM	Sables de l'Albien	F8HIM_3	3600	Sables de la Puisaye, de Frécambault et des Drillons de l'Albien moyen à supérieur à l'est de la région Centre	2	5	1
			F8HIM_2	3700	Argiles de Myennes et de l'Armanche de l'Albien inférieur (Est région Centre)	2	7	1
			F8HIM_1	3800	Sables verts de l'Albien inférieur	2	5	1



NV1	NV2		NV3					
Libellé Provisoire Entité	Code Provisoire Entité	Libellé Provisoire Entité	Code Provisoire Entité	Ordre d'apparition	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Milieu
	F8JKN	Argiles de l'Aptien-Barrémien	F8JKN_1	3900	Argiles de l'Aptien-Barrémien	2	7	1
	F8O	Sables et Calcaires du Néocomien	F8O_2	4000	Sables du Néocomien de l'Hauterivien/Barrémien (Est région Centre)	2	5	1
			F8O_1	4100	Calcaires du Néocomien de l'Hauterivien/Barrémien (SE région Centre)	2	5	2
GSA des Calcaires du Tithonien	F9K	Calcaires du Tithonien supérieur	F9K_3	4200	Dolomies du Tithonien supérieur (NE région Centre)	2	5	2
			F9K_2	4300	Calcaires et Oolithes du Tithonien (NE région Centre)	2	5	2
			F9K_1	4400	Facies marneux et barre lithographique du Tithonien inférieur (NE région Centre)	2	6	1
	F9L	Calcaires du Tithonien inférieur	F9L_1	4500	Calcaires du Tithonien inférieur	2	5	2
GDH des Marnes du Kimméridgien	F10D	Marnes du Kimméridgien	F10D_2	4600	Marnes et Calcaires du Kimméridgien (Sud région Centre)	2	7	1
			F10D_1	4600	Calcaires et Marnes du Kimméridgien	2	6	4
GSA des Calcaires du Kimméridgien inf. et de l'Oxfordien sup.	F10E	Calcaires du Kimméridgien inférieur et de l'Oxfordien supérieur	F10E_2	4700	Calcaires affleurants du Kimméridgien et de l'Oxfordien (Sud région Centre)	2	5	2
			F10E_1	4700	Calcaires non affleurants du Kimméridgien et de l'Oxfordien	2	6	2
	F10F	Calcaires argileux de l'Oxfordien	F0F_1	4800	Marnes et Calcaires de l'Oxfordien	2	6	2
GDH des Marnes callovo-oxfordiennes	F10G	Marnes callovo-oxfordiennes	F10G_1	4900	Marnes callovo-oxfordiennes	2	7	1
GSM du Jurassique moyen (Dogger)	F11KLMOR	Calcaires du Bathonien - Callovien	F11KLMOR_1	5000	Calcaires du Bathonien-Callovien	2	5	2
	F11A	Sillon marneux du Bathonien - Callovien	F11A_1	5000	Sillon marneux du Bathonien-Callovien	2	7	1
	F11S	Marnes du Bajocien	F11S_1	5200	Marnes du Bajocien (NE région Centre)	2	7	1
	F11T	Calcaires de l'Aalénien - Bajocien	F11T_1	5300	Calcaires de l'Aalénien-Bajocien	2	5	2
GDH du Jurassique inf. (Lias) et du Trias sup. (Keuper)	F12A	Marnes du Lias supérieur	F12A_1	5400	Marnes du Lias supérieur	2	7	1
	F13A	Argiles et Calcaires argileux du Lias inf. et du Keuper	F13A_2	5500	Argiles du Lias inférieur (Est région Centre)	2	7	1
			F13A_1	5500	Calcaires argileux et bioclastiques du Lias de Sologne, du Berry et de Bourgogne	2	6	4
GSM du Trias inf.	F14A	Grès et Argiles du Trias sup. (Keuper)	F14A_2	5700	Dépôts argileux du Rhétien (Eure-et-Loire)	2	7	1
			F14A_1	5800	Grès du Trias sup. (Keuper)	2	5	1
	F15A	Sables et Grès du Trias inf. à sup.	F15A_2	5900	Argiles bariolées du Trias moyen à sup. (Est région Centre)	2	7	1
			F15A_1	6000	Dolomies et Grès du Trias moyen à sup.	2	5	1



## **Annexe 2 – Aperçus géologiques**

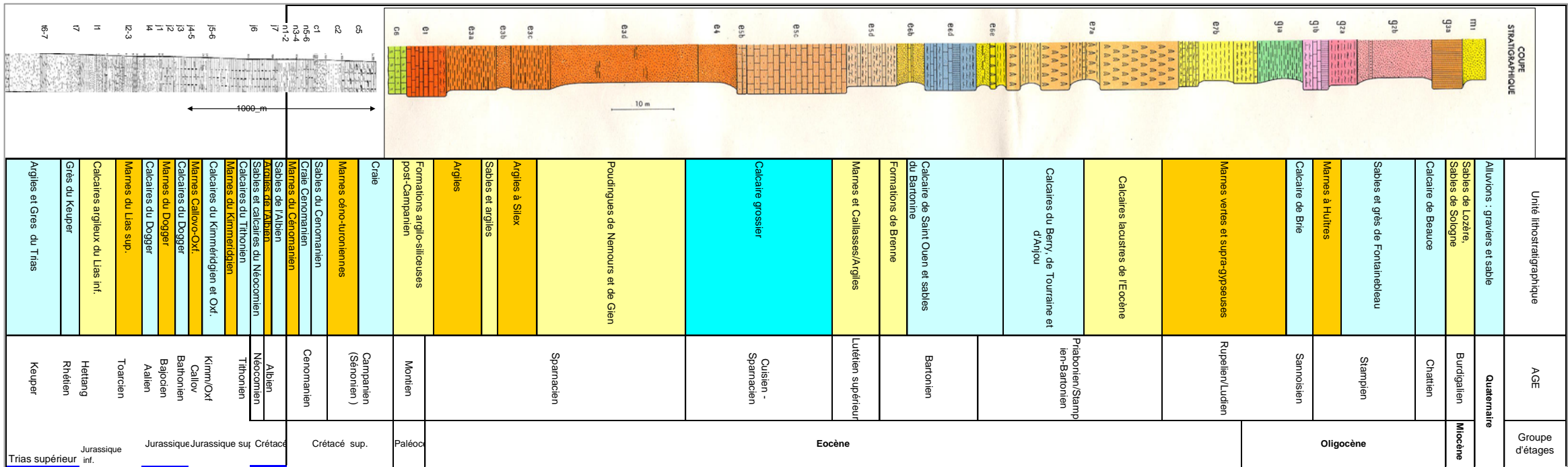




*Esquisse géologique de la région Centre*

source: rapport BRGM/RP- 54542-FR (2006)







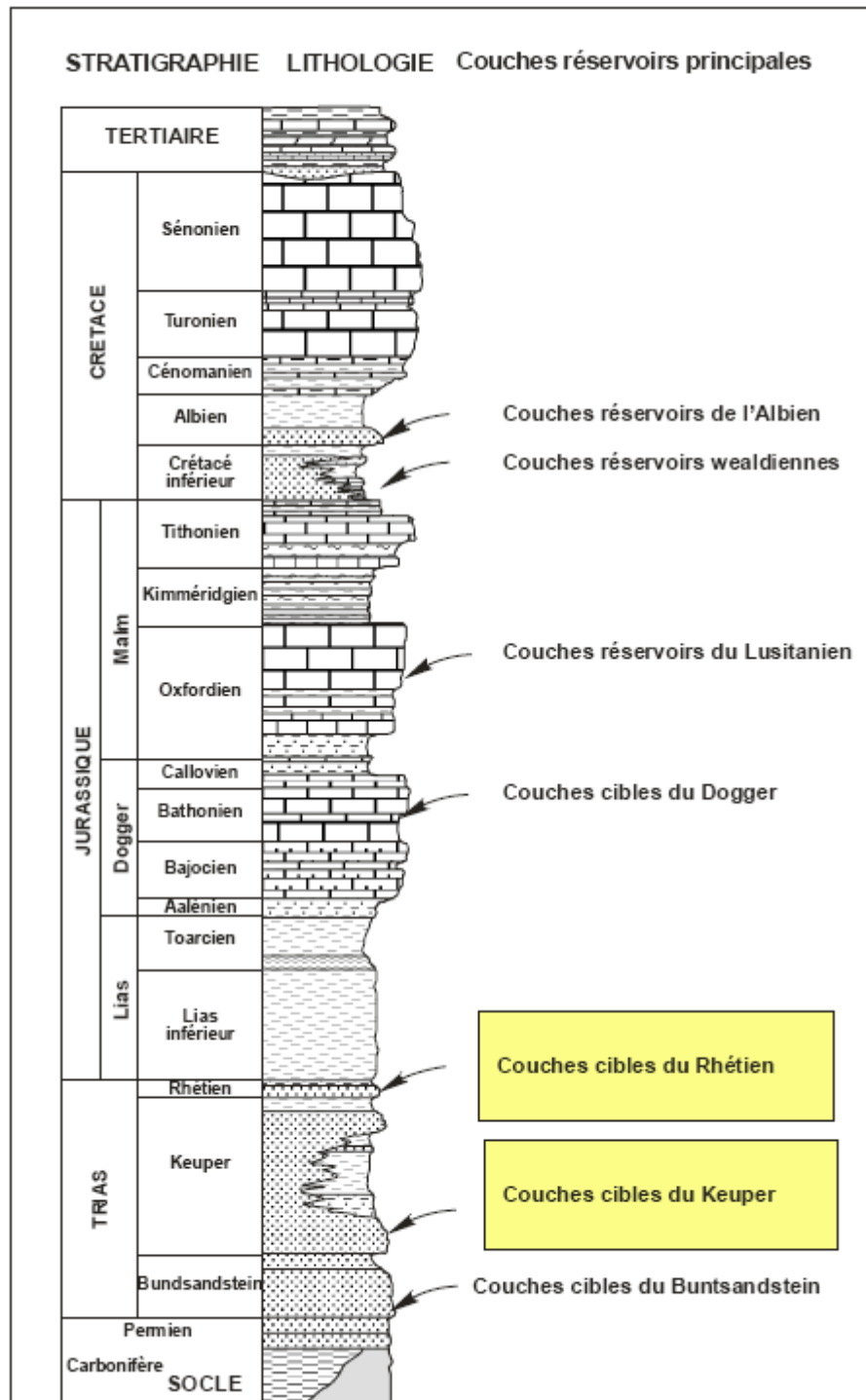


Illustration 36 – Log géologique synthétique avec les principales couches réservoirs dans le Bassin de Paris (extrait du rapport BRGM RP56463-FR)



## **Annexe 3**

# **Lexique de caractérisation des entités et des limites**

(d'après le 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) ;
- **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.

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

**Thème** de rattachement des entités à une formation géologique

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

**Nature** des entités

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

**Type de milieu** (porosité)

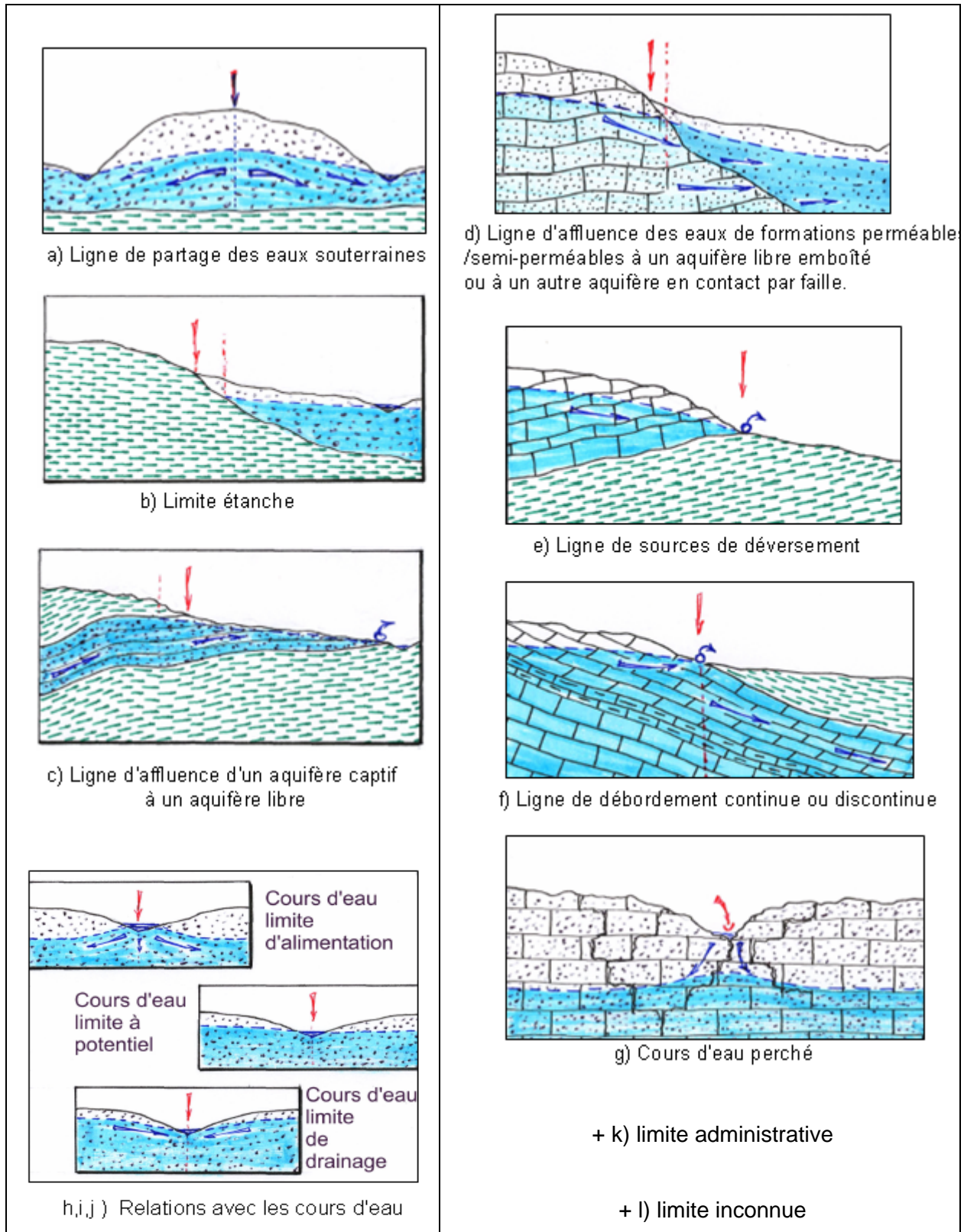
Code	Libellé
1	Nappe captive
2	Nappe libre
3	Libre et captive
4	Alternativement libre puis captive

**Etat** de la nappe



## 2. Types de limites

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





## **Annexe 4**

# **Le modèle de gestion du référentiel et la géodatabase des entités**



# 1. Le modèle de gestion

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

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

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

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

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

1) d'archiver dans un réservoir de données unique l'ensemble des informations relatives aux entités: leur géométrie et leur caractérisation;

2) de restituer ces informations, à savoir :

- le niveau de regroupement des entités (NV1, NV2, NV3),
- le code, le nom des entités,
- la nature des entités,
- le thème des entités,
- le type de milieu des entités,
- l'état des entités.
- la position relative des entités les unes par rapport aux autres
  - en deux dimensions (X,Y)
  - 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, ....

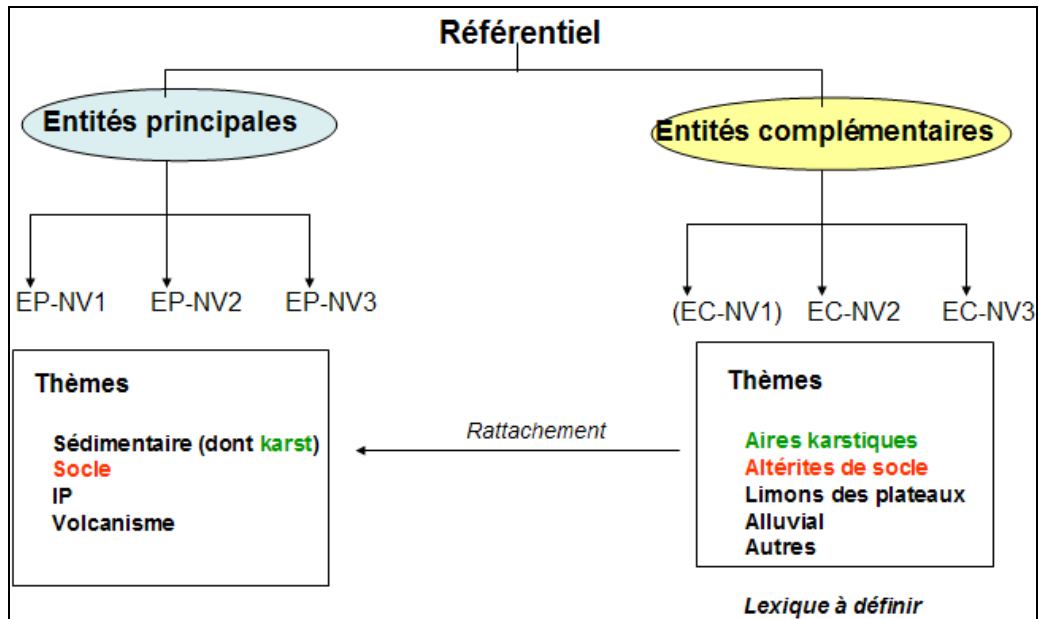


Illustration A1 – Organisation générale du référentiel

### 1.2.2. Ordonnement 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'ordonnement 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.

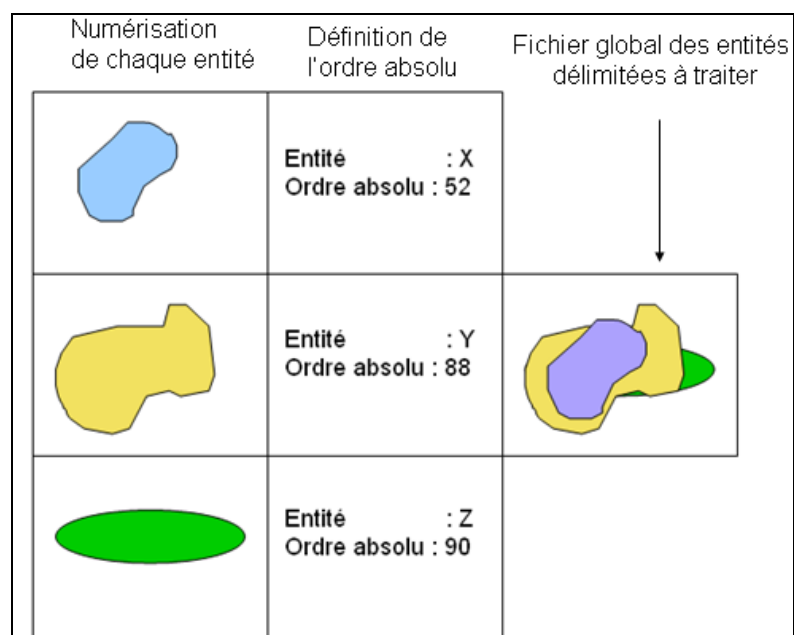


Illustration A2 – Ordonnement des entités par un âge absolu

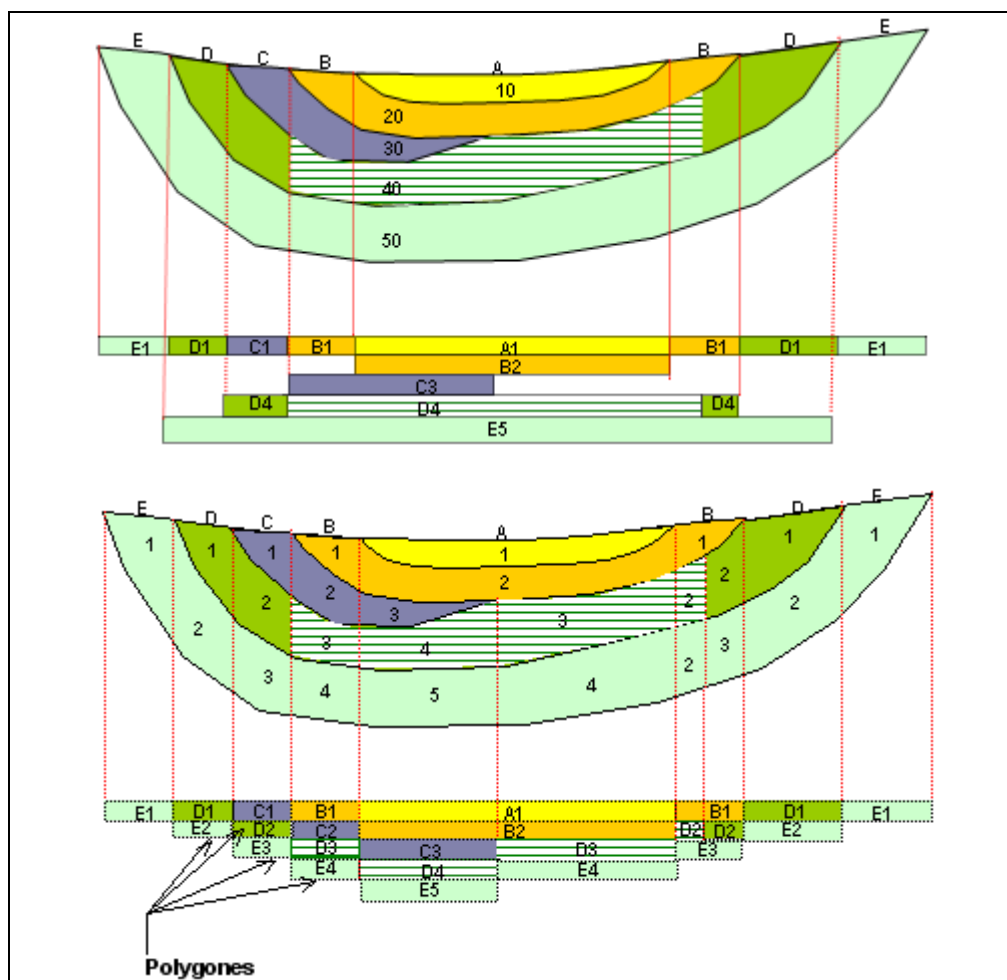


Illustration A3 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif.

### 1.2.3. Complétude

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

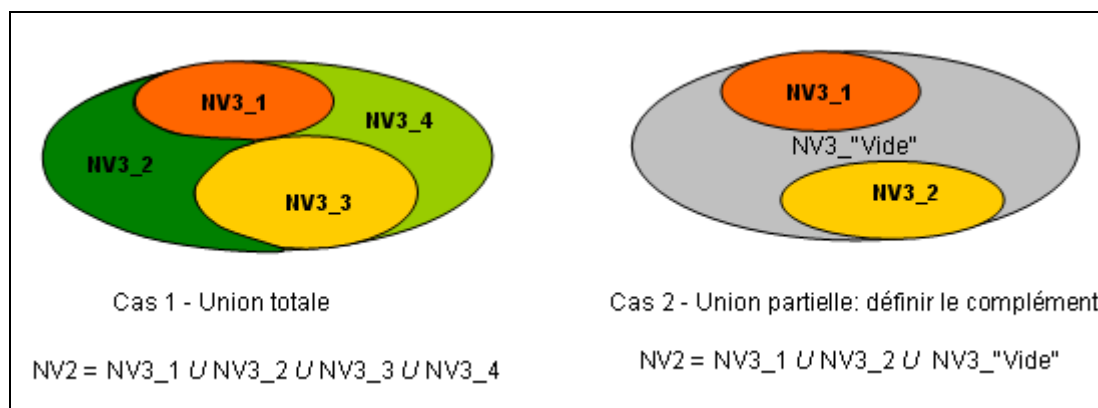


Illustration A4 - Reconstitution d'une entité de niveau 2 à par d'entités de niveau 3.

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

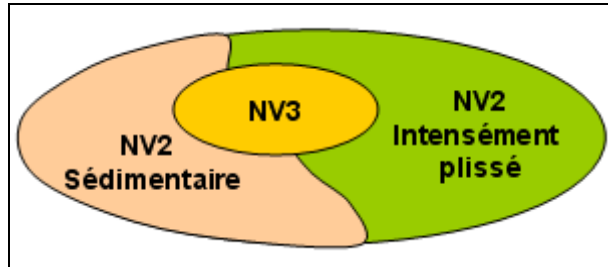


Illustration A5 – Entité de niveau 3 s'étendant sur 2 entités de niveau 2

#### 1.2.4. Héritage des limites

##### • Limites

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

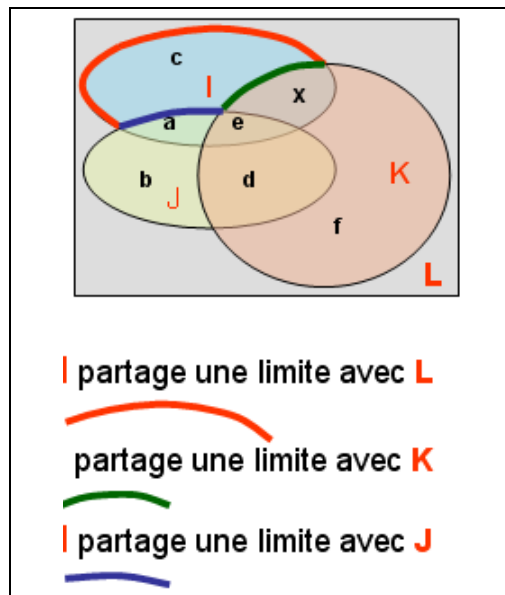


Illustration A6 – Restitution des limites des entités à partir de la table des polygones

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

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

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

- 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.

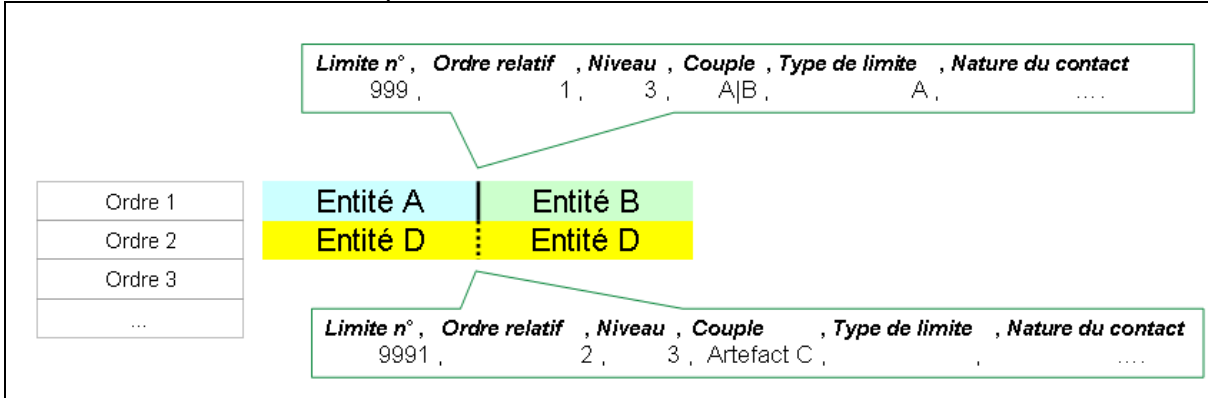


Illustration A7 – Exemple de contacts entre entités

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.

<b>RHF_LEXIQUES_VALEURS</b>		
<b>CODE</b>	<b>VALEUR</b>	<b>Commentaire</b>
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).

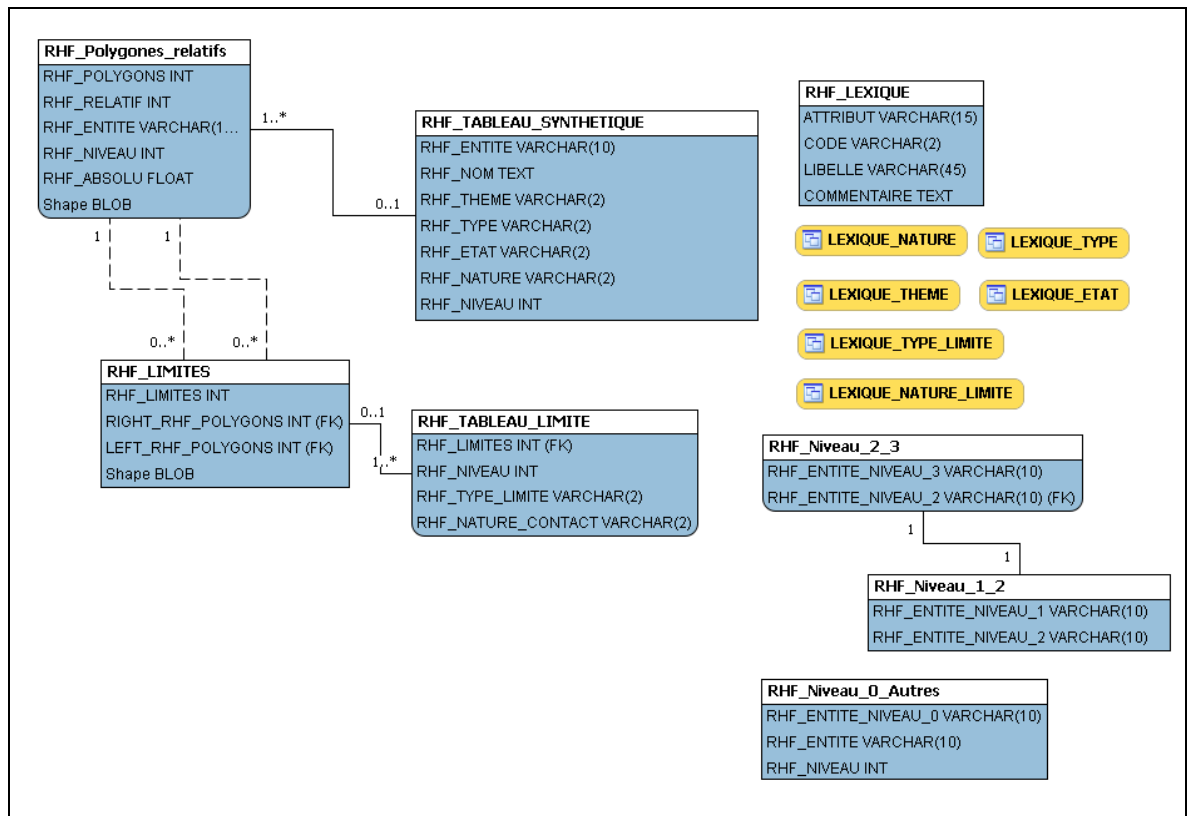


Illustration A10 – Modèle conceptuel de la géodatabase

**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 préfixées avec **BDRHF\_**.



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

## 2.2. PRINCIPALES TABLES

### 2.2.1. Table des "RHF\_Polygones relatifs"

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

### 2.2.2. Table RHF\_Tableau\_Synthetique

La table RHF\_Tableau\_Synthetique est la transcription au format MSACCESS du tableau multi-échelles (illustration A12).

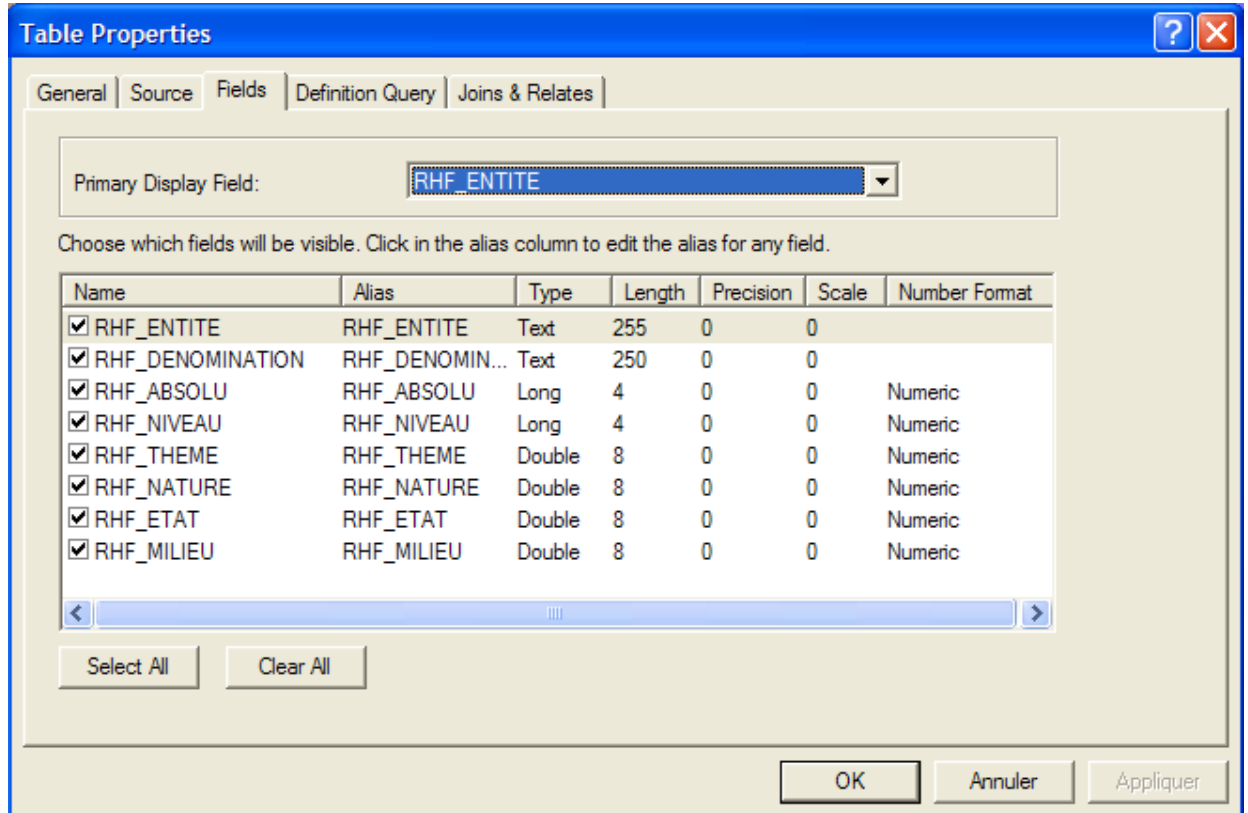


Illustration A12 - Table RHF\_Tableau\_Synthetique

### 2.2.3. Table des limites

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

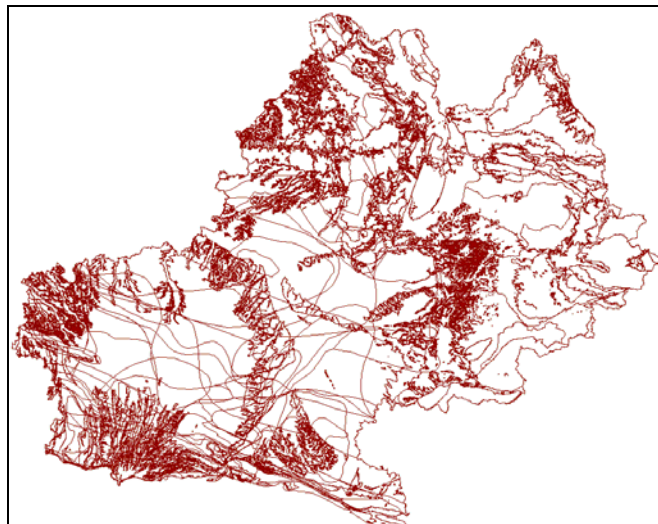


Illustration A13 – Table des limites des entités d'ordre 1 (exemple de la région Midi-Pyrénées)

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

## 2.2.4. Table RHF\_Limites\_nature

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

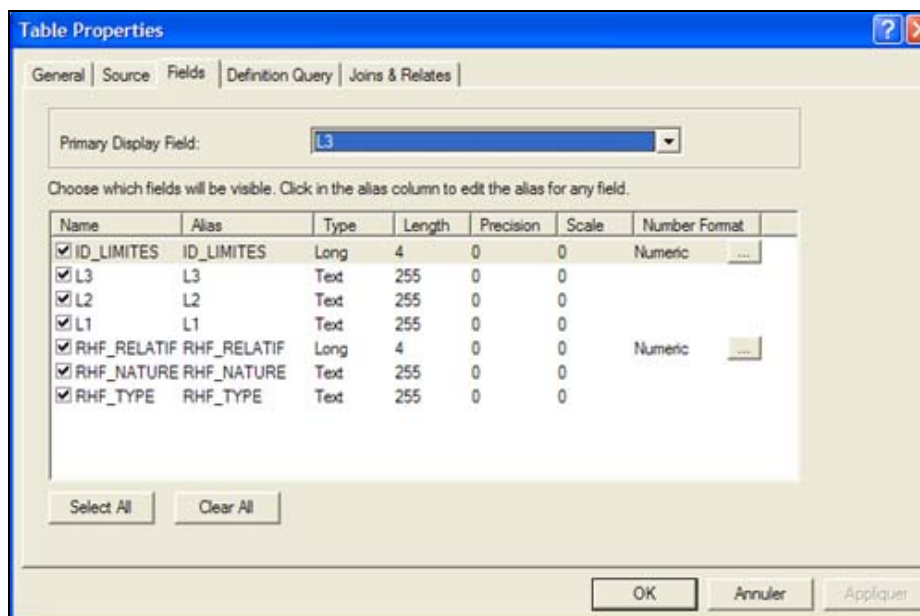


Illustration A14 – Table de la nature des limites

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 A14 – Lexique de la nature des contacts

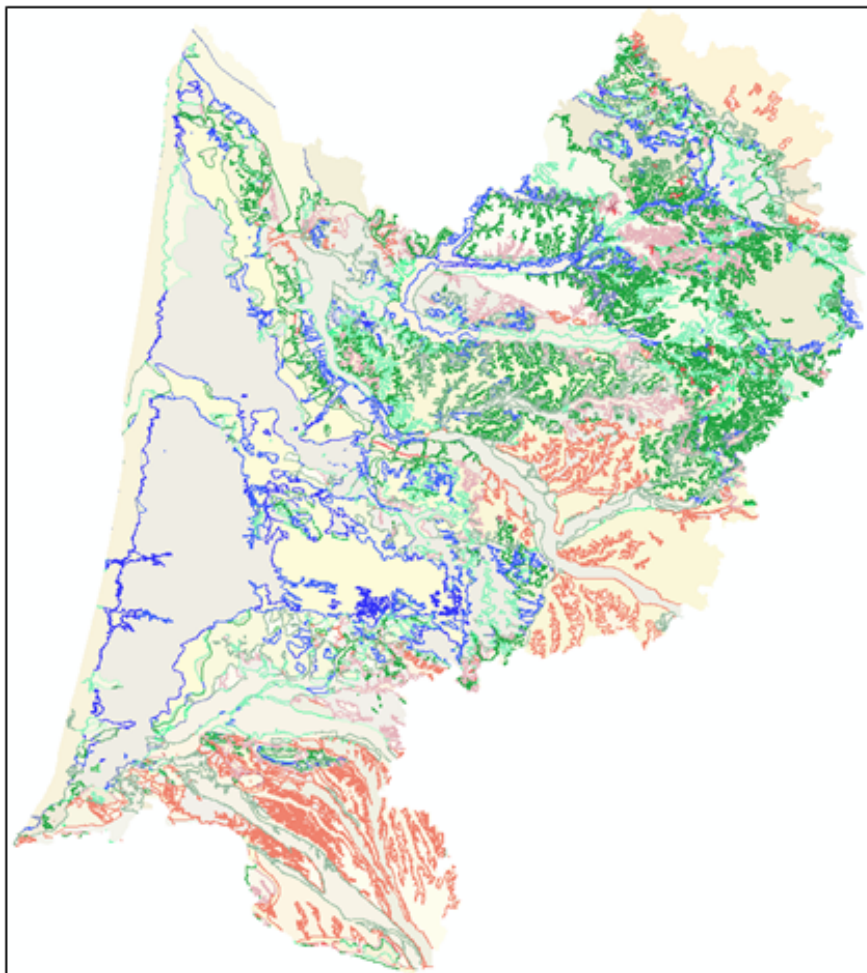


Illustration A15 – Exemple de représentation des limites en fonction de la nature des contacts (référentiel de l'Aquitaine)

### 2.2.5. Requêtes sur le modèle et tables associées

#### Requêtes Toits et murs

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

Dans l'illustration suivante,

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

<b>A</b>	<b>b</b>	i	i	k
<b>e</b>	<b>A</b>	<b>b</b>	i	i
	<b>e</b>	<b>A</b>	<b>c</b>	i
		<b>f</b>	<b>A</b>	<b>c</b>
			<b>f</b>	<b>A</b>
				<b>f</b>

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 aquifè	10	0.5628394038	711758480	48054244348	2
10A	100	Toit	7B	Système aquifè	70	0.0017709860	2239563	2529170755.2	2
10A	100	Toit	8B	Domaine imper	80	0.0742439338	93887793	11381268398	2
10A1	100	Toit	1B4	Domaine aquifè	10	0.9297574797	17265823	37140487.444	3
10A2	100	Toit	1B3	Domaine aquifè	10	0.0004950633	57642	116433589.51	3
10A2	100	Toit	1B4	Domaine aquifè	10	0.8677559751	101035943	465734358.05	3
10A3	100	Toit	1B7	Domaine aquifè	10	0.649815871	151132818	1395467467.8	3
10A3	100	Toit	7B41	Unité aquifère d	70	0.0096293022	2239563	465155822.59	3
10A4	100	Toit	1B5	Domaine aquifè	10	0.2818628625	89605078	317903100.79	3
10A4	100	Toit	1B6	Domaine aquifè	10	0.4512132491	143442091	317903100.79	3
10A5	100	Toit	1B3	Domaine aquifè	10	0.4961843609	119449097	2648088433.8	3
10A6	100	Toit	1B2	Domaine aquifè	10	0.5742847963	82878229	1010208883.7	3
10A6	100	Toit	8B5	Domaine imper	80	0.0132702258	1915100	144315554.81	3
10A7	100	Toit	1B8	Domaine aquifè	10	0.0052030419	324017	124549065.16	3
10A7	100	Toit	8B5	Domaine imper	80	0.1076240756	6702239	124549065.16	3
10A8	100	Toit	1B1	Domaine aquifè	10	0.008406365	6657743	305235308.14	3

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

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

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

Table (requête) : BDRHF\_TABLE\_MUR (BDRHF\_MUR)

RHF_ENTITE	RHF_ABSOLU	Position	MURS	LIBELLE	ORDRE_ABSO	Smurs	Aire	Part_Mur	Surface	RHF_NIVEAU
1	10	Mur	10	Grand système	100	847686972	1974761781.9	0.4292603694	88864280188	1
1	10	Mur	11	Grand domaine	110	40936870	1974761781.9	0.0207300295	63192377022	1
1	10	Mur	12	Grand système	120	75500861	1974761781.9	0.0382328956	37520473857	1
1	10	Mur	21	Grand système	20	114308450	1974761781.9	0.0578846781	51343806331	1
1	10	Mur	3	Grand domaine	30	116647627	1974761781.9	0.0590692144	1.007129E+11	1
1	10	Mur	4	Grand système	40	43530245	1974761781.9	0.0220432892	19747617819	1
1	10	Mur	4	Grand système	41	7878785	1974761781.9	0.0039897395	13823332474	1
1	10	Mur	4	Grand système	42	375791	1974761781.9	0.0001902969	3949523563.9	1
1	10	Mur	5	Grand système	60	104651691	1974761781.9	0.0529945900	78990471278	1
1	10	Mur	5	Grand système	65	33115719	1974761781.9	0.0167694753	1974761781.9	1
1	10	Mur	51	Grand domaine	50	60766447	1974761781.9	0.0307715328	61217615240	1
1	10	Mur	7	Grand Système	70	290111334	1974761781.9	0.1469095344	98738089097	1
1	10	Mur	9	Grand Système	90	27446597	1974761781.9	0.0138986876	9873808909.7	1
1	10	Mur	9	Grand Système	91	113210525	1974761781.9	0.0573286996	35645712075	1
10	100	Mur	11	Grand domaine	110	16576785913	16584901422	0.9995106689	2.063162E+13	1
10	100	Mur	12	Grand système	120	7655244	16584901422	0.0004616394	66339605687	1

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

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

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

### 2.2.6. Table des ordres

Il s'agit d'une table (illustration A20) dans laquelle les entités (champ "RHF\_ENTITE") sont "décomposées" suivant leur ordre relatif de recouvrement (champ "RHF\_RELATIF"), chaque partie étant caractérisée par la superficie qu'elle occupe (Champ "Parts").

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

Illustration A20 - Table des ordres

...

## **Annexe 5**

# **Mode opératoire pour la délimitation des entités (logiciel ArcGis 9.31)**

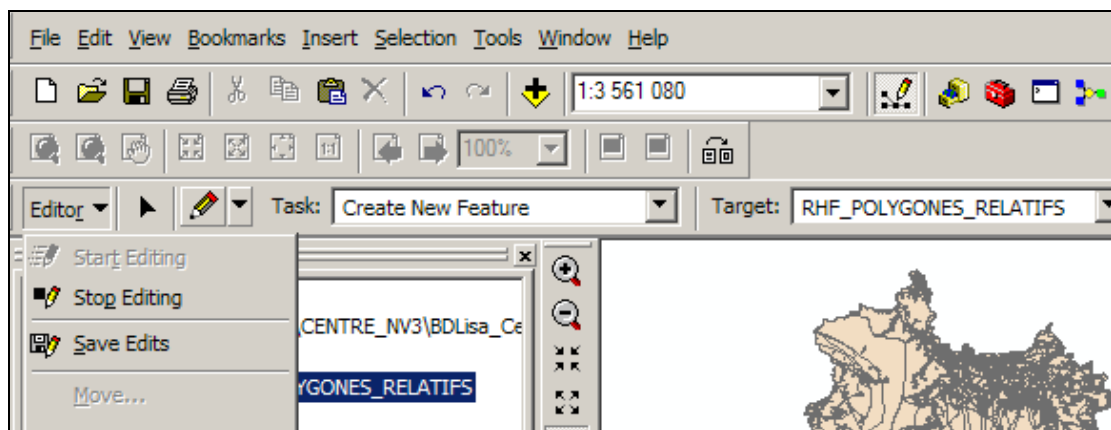


Les différentes opérations sont décrites avec les termes techniques anglais et français. (notés de la façon suivante: [ anglais/français ]). En fin de cette annexe, un glossaire récapitule ces termes techniques.

## 1. Opérations de base

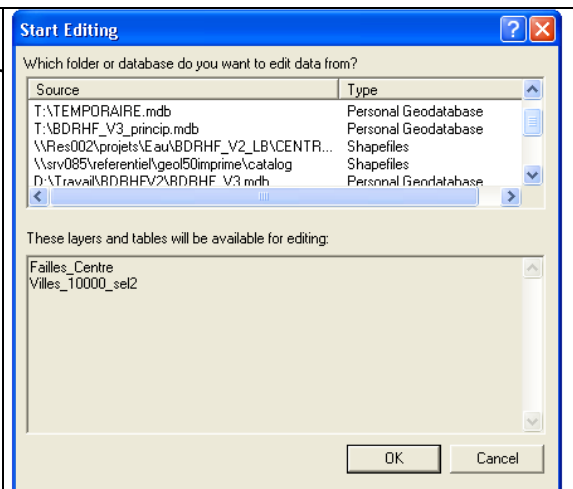
Pour modifier, ou créer une entité, ARCGIS, utiliser le mode éditeur. Pour rendre visible ce mode, cliquer avec le bouton droit de la souris dans la partie grise de la fenêtre ARCGIS puis cocher [Editor/Editeur].

Autre solution: aller dans [Tools/Outils] et cliquer sur [Customize/Personnaliser], puis sur [Editor/Editeur]. La barre d'édition s'affiche alors.



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

Utiliser le mode éditeur sur cette couche en cliquant sur [Editor/Editeur] puis [Start editing/Ouvrir une session de mise à jour].



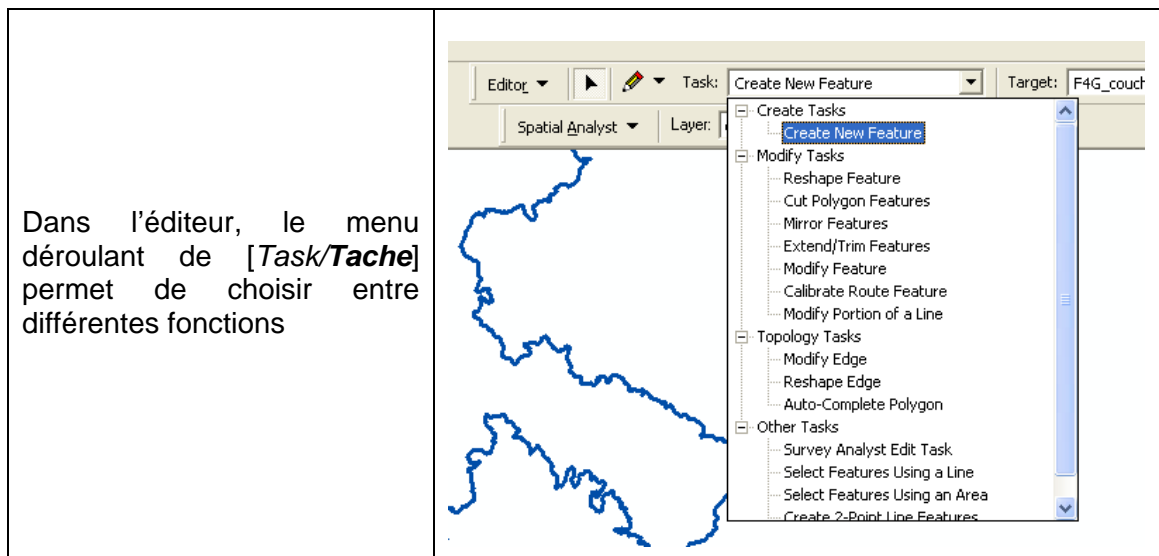
Dans [Source], on sélectionne le dossier ou la base de données qui contient la couche à modifier.

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



Attention, vérifier que la bonne couche est affichée dans la fenêtre de l'éditeur, car celui-ci choisit automatiquement la dernière couche modifiée.

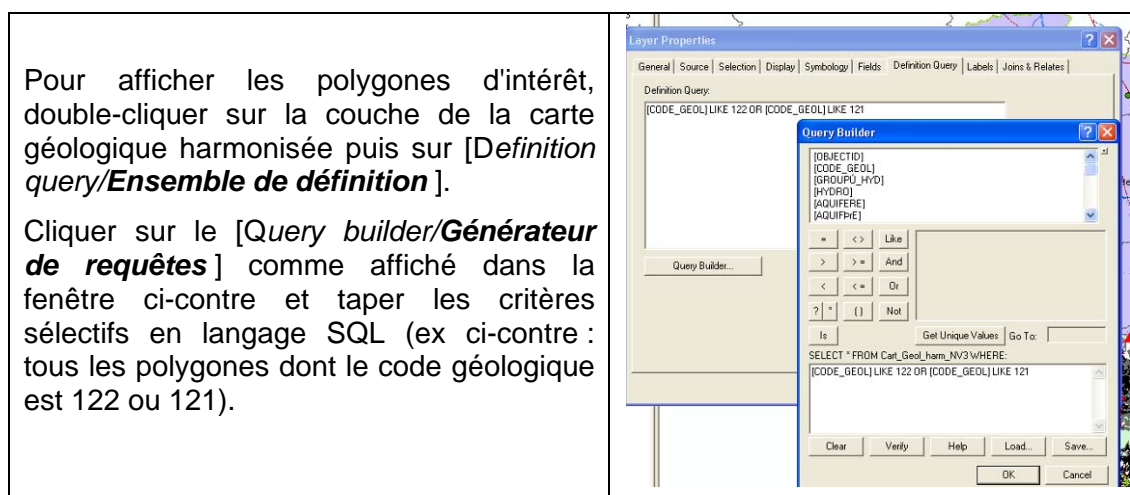
Si ce n'est pas le cas, sélectionner sous [Target/Cible] la couche souhaitée.




Les quatre fonctions les plus utiles pour les traitements sont :

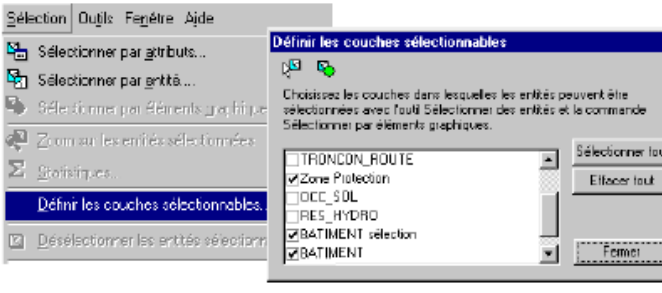
- 1) [Create new feature/**Créer une nouvelle entité**] qui permet de créer des polygones;
- 2) [Reshape feature/**Remodeler l'entité**] qui permet de changer une partie du polygone par le tracé d'une ligne qui coupe le polygone (cf. chapitre 2.2);
- 3) [Cut polygon feature/**Découper des entités surfaciques**]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

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




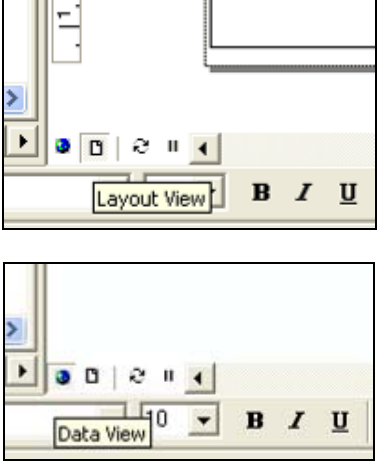
Ensuite, aller dans la barre de menu d'ARCGIS sous [selection, set selectable layers/**sélection, Définir les couches sélectionnables**], et choisir la couche souhaitée, par exemple la carte géologique harmonisée.

 **Décocher d'abord toutes les couches par sécurité [Clear all/Effacer tout]. Cette limitation de la sélection est une sécurité pour restreindre la sélection uniquement à la couche souhaitée.**




Cliquer ensuite avec le bouton droit de la souris sur la couche de la géologie harmonisée, puis faire [*Select all/Sélectionner tout*]. A ce stade, tous les polygones de la carte géologique harmonisée définis préalablement sont sélectionnés. Il est alors possible de copier la sélection et de coller ces polygones dans la couche modifiable (celle que l'on a précédemment ouverte dans la session d'édition).

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



Deux solutions existent pour copier :

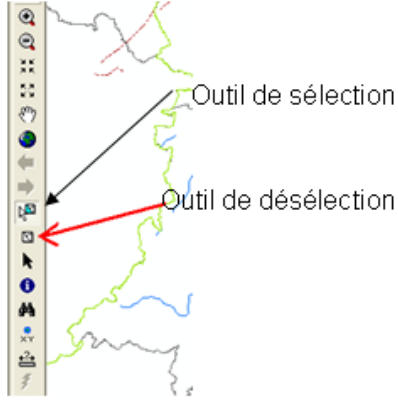
- CTRL+C (copie les entités sélectionnés qui ne sont pas nécessairement dans la couche éditée) puis CTRL+V (colle ces entités dans la couche en cours d'édition).
- Aller dans [*Edit/Édition*] dans le menu en haut à gauche puis [*Copy/Copier*], puis faire [*Paste/Coller*] :

 Cette fonction peut être utile car le CTRL+C et CTRL+V peuvent ne pas fonctionner !

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

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

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



Outil de sélection

Outil de désélection

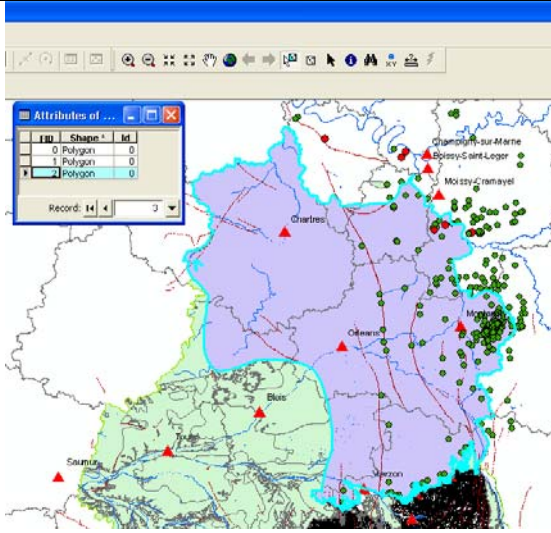


Vérifier que l'entité est sélectionnable (sous [selection, Set selectable layers/sélection, Définir les couches sélectionnables]).

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

Pour supprimer des polygones:  
[Delete /**Supprimer**].

Sélectionner les polygones dans la carte ou dans la table attributaire [Attribute table/**Table attributaire**], puis clic droit de la souris en se positionnant à gauche de la ligne, puis [Delete selected/**Supprimer les enregis-trements sélectionnés**] ou la touche **SUPPR** directement.



FID	Shape	Int
0	Polygon	0
1	Polygon	0
2	Polygon	0

Record: 14 / 4

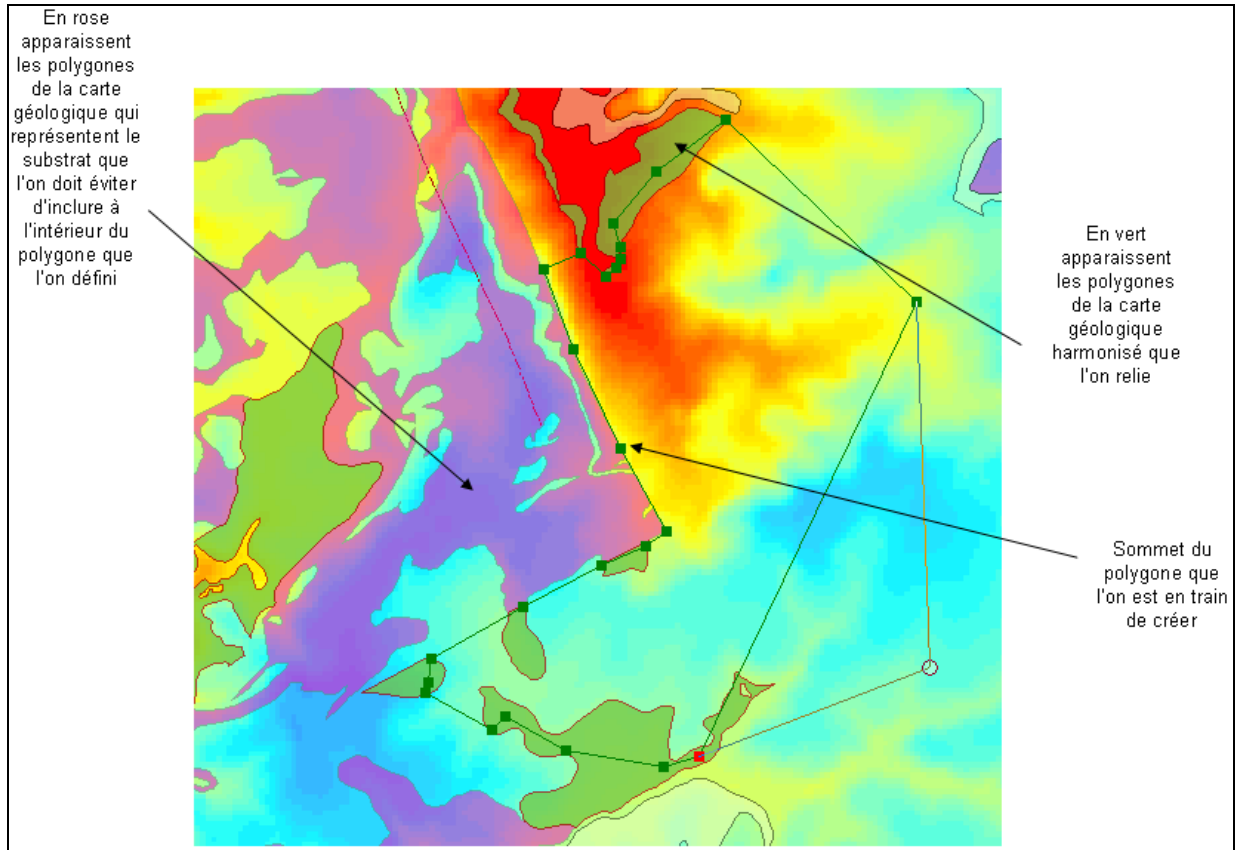
Il faut être en mode édition de la couche pour que la suppression fonctionne.

## 2. Délimitation des unités au niveau des affleurements

On décrit ci-après les opérations possibles

### 2.1. Tracé d'un polygone "englobant"

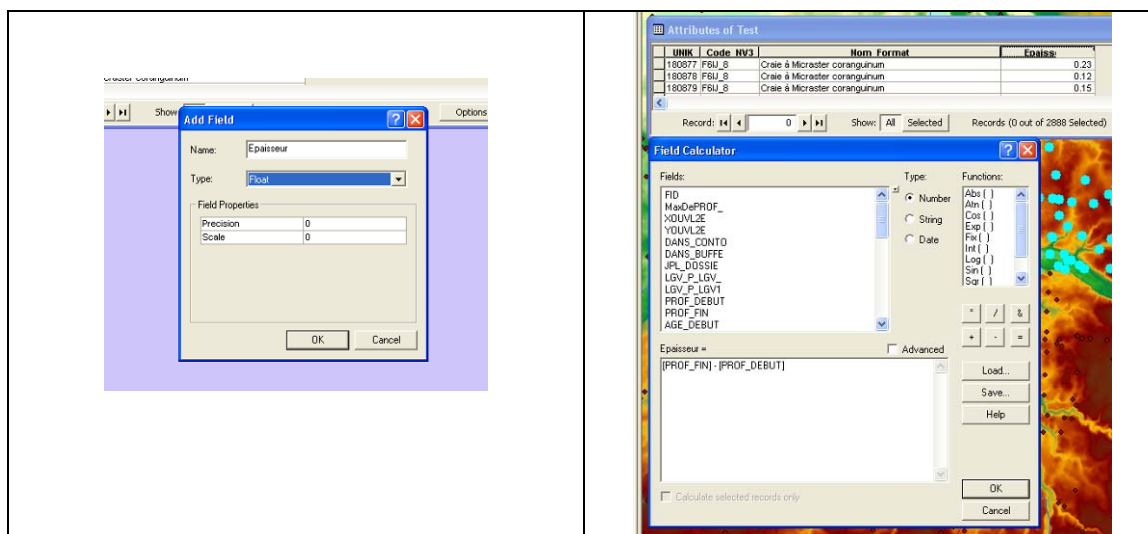
Le principe de base de cette méthode est la création d'un polygone qui intègre les différents affleurements et les relie entre eux comme le montre l'illustration ci-dessous.



#### 2.1.1. Données pour la délimitation

Pour la délimitation de l'entité considérée, il faut faire intervenir:

- les affleurements de la formation que l'on cartographie et ceux de la formation plus ancienne sous-jacente (le "substrat");
- les forages correspondants à la formation (avec visualisation des épaisseurs). Pour obtenir l'épaisseur des couches, ajouter un champ [Add Field/Ajouter champs]. Clic droit avec la souris droite dans le nom du champ en haut de la colonne (ici : épaisseur) et choisir [Field Calculator/Calculer les valeurs] (cf. illustration).



Double-cliquer sur la couche pour afficher les propriétés de la couche:  
**[Layer Properties/Propriétés de la couche]**.

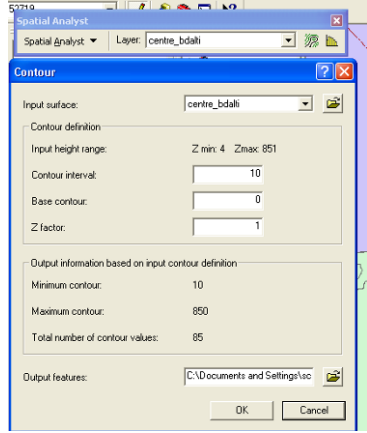
Dans **[Symbology/Symbologie]** le mode **[Quantities/Quantités]** permet de distinguer les forages selon l'épaisseur de la formation recoupée.

Symbol	Range	Label
○	0.300000 - 5.000000	0 - 5
●	5.000001 - 15.000000	6 - 15
◆	15.000001 - 30.000000	16 - 30
◇	30.000001 - 50.000000	31 - 50
◆	50.000001 - 100.000000	51 - 100

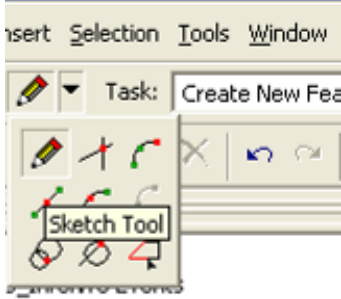
L'utilisation du MNT fournit une information supplémentaire en permettant de visualiser le relief et de reconstituer dans certains cas le contour d'une formation sous recouvrement superficiel à l'aide des courbes de niveaux.

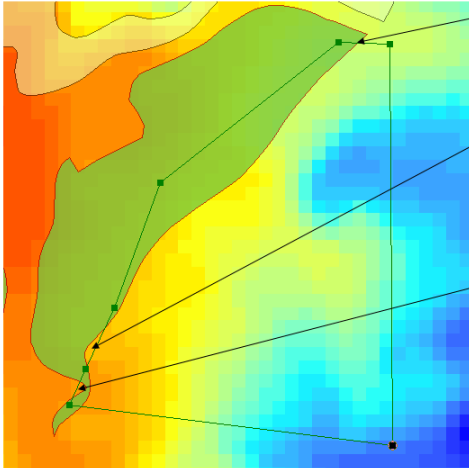
Pour que les reliefs soient bien visibles à toutes les échelles, le choix des couleurs peut être réadapté automatiquement. Dans les propriétés de la couche, cliquer sur l'onglet **[Symbology/Symbologie]**.

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

<p>Pour tracer des courbes de niveau du MNT (polygones), on peut utiliser dans Spatial Analyst l'outil de [Contour/<i>Isoligne</i>], qu'on peut suivre ensuite avec un outil [Trace tool/<i>Outil traçage</i>] décrit dans la suite.</p>	
--	--

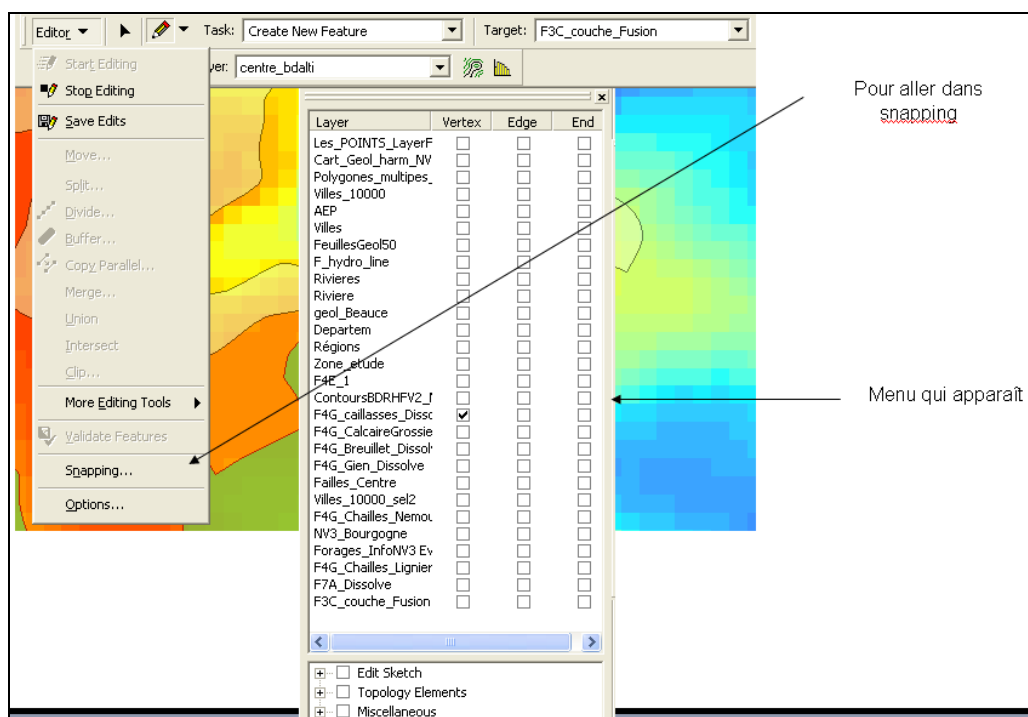
2.1.2. Création d'un polygone par tracé "libre"

<p>Pour tracer un polygone, aller dans la barre d'édition : sélectionner la tâche [Create new feature/<i>Créer une nouvelle entité</i>], puis prendre l'outil [Sketch Tool/<i>Outil Construction</i>].</p>	
--	---

<p>Cet outil permet de dessiner un polygone. Cliquer sur la carte pour dessiner un contour. Terminer le polygone par un double clic. Le polygone créé s'insère dans la couche qui est en mode édition. On peut, pendant le tracé, zoomer, dézoomer, interroger une couche,... et reprendre le traçage au même point. Si l'on veut supprimer un sommet que l'on vient juste de créer, utiliser les touches <b>CTRL+Z</b>.</p>	
--	--

Cette opération peut générer des artefacts: il est alors recommandé d'utiliser l'outil de [Snapping/*Capture*]. Cet outil permet de positionner les sommets du polygone que l'on trace sur une couche de données définie. Ainsi les sommets créés se positionneront sur la ligne existante de la couche de polygones définie.

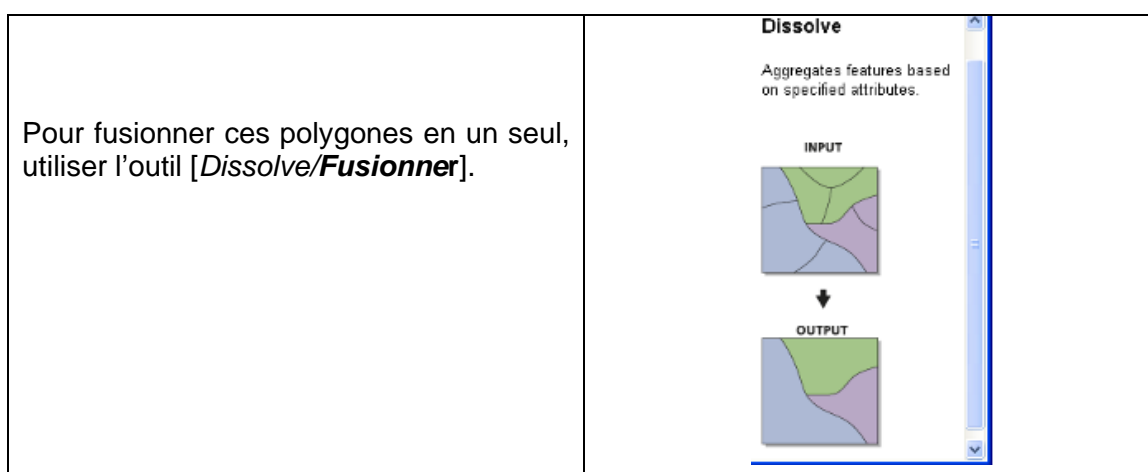
Pour cela, aller dans la barre d'édition dans le premier menu déroulant :



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

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

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



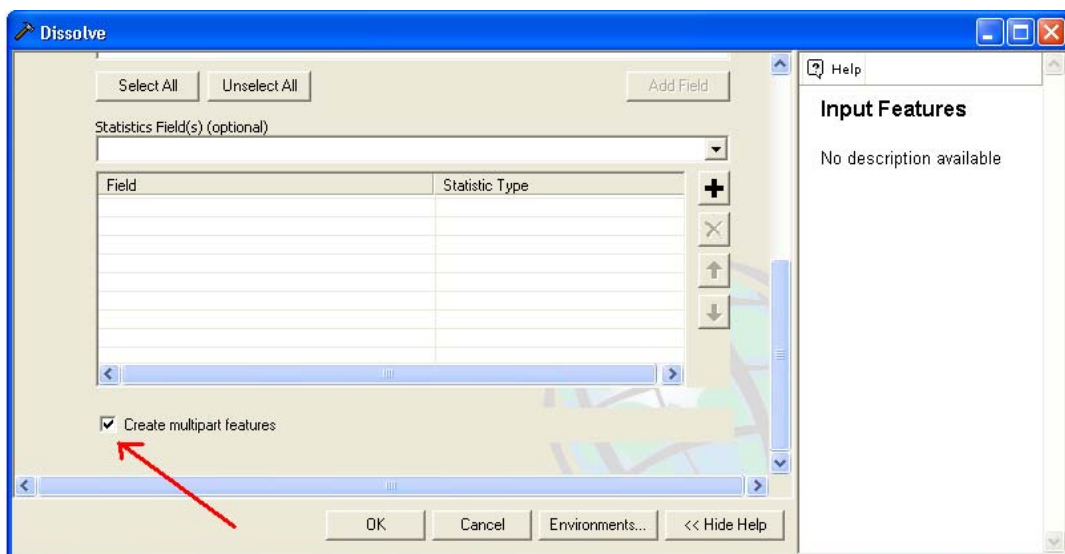
Cet outil est situé dans les [*Toolbox/Boîtes à outils*]



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

- cochée (ce qui est le cas par défaut), la fusion ne fournira à la fin qu'un polygone qui incluant plusieurs polygones

- non cochée, il y aura autant de polygones qu'il y a d'entités disjointes. C'est cette deuxième option qu'il faut choisir pour cette fonction.



La fusion est une opération qui peut être effectuée à la fin des opérations de création des entités hors mode éditeur.

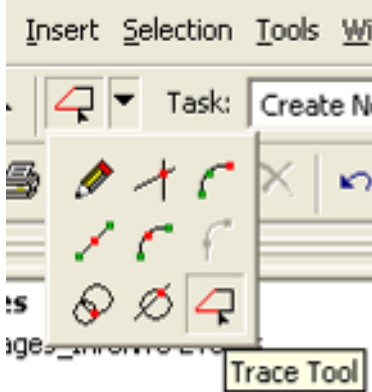
Plusieurs polygones d'une même couche peuvent être enregistrés disjoints et apparaître dans la table attributaire sous la forme "un polygone = une ligne". Dès lors, il est possible de sélectionner un polygone indépendamment des autres.

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

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

### 2.1.3. Création d'un polygone en s'appuyant sur d'autres entités

La deuxième méthode permet de suivre les lignes d'un polygone, par exemple de la carte géologique harmonisée. **Sélectionner d'abord l'entité sur laquelle vous souhaitez accrocher le nouveau polygone.**


<p>Prendre l'outil [Trace tool/<b>Outil traçage</b>] (pour que cet outil apparaisse, mettez vous en mode de [Create new feature/<b>Créer une nouvelle entité</b>]).</p>	
---	--

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

On peut changer en cours de parcours le mode de tracé et poursuivre la construction du polygone avec par exemple [Sketch Tool/**Outil de construction**]

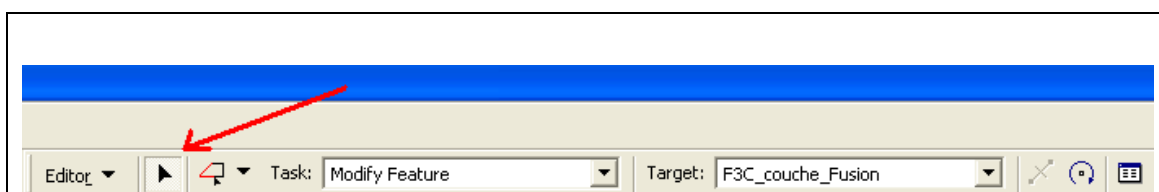


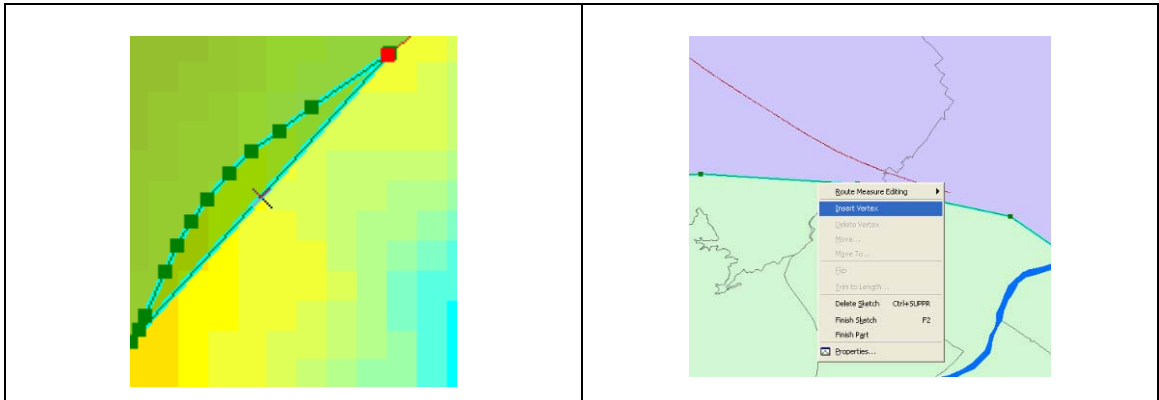
Il est plus prudent d'enregistrer avant d'utiliser cet outil.

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

## 2.2. Modification des sommets des polygones

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





En cliquant sur le contour du polygone, on peut :

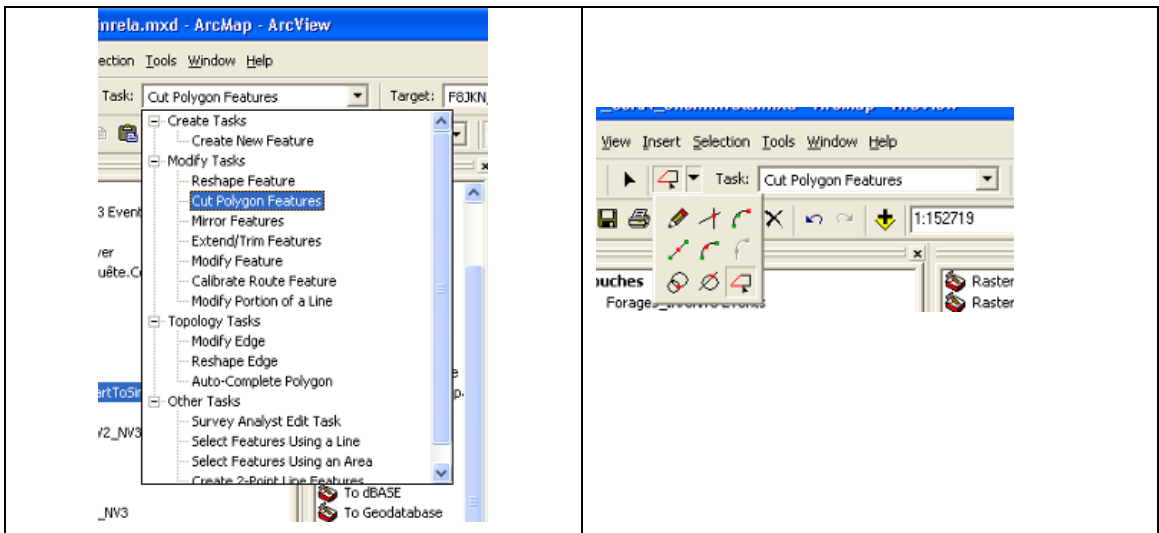
- insérer des sommets (clic droit puis [*Insert vertex/Insérer des sommets*] ;
- supprimer des vertex (clic droit puis [*Delete vertex/Supprimer un sommet*] ;
- déplacer les sommets existants (cliquer dessus et déplacer le vertex en restant "cliqué").



Attention de ne pas déplacer le polygone involontairement lors des manipulations. Cela est possible lorsqu'un polygone est sélectionné par le curseur et qu'une forme en croix apparaît.

### 2.3. Découpage de polygones par un trait de coupe

La méthode [*Cut polygon feature/Découper des entités surfaciques*] peut être appliquée pour préparer l'opération décrite au § 2.1.2., en créant des ensembles de polygones plus grands qu'il est ensuite plus facile de relier entre eux.



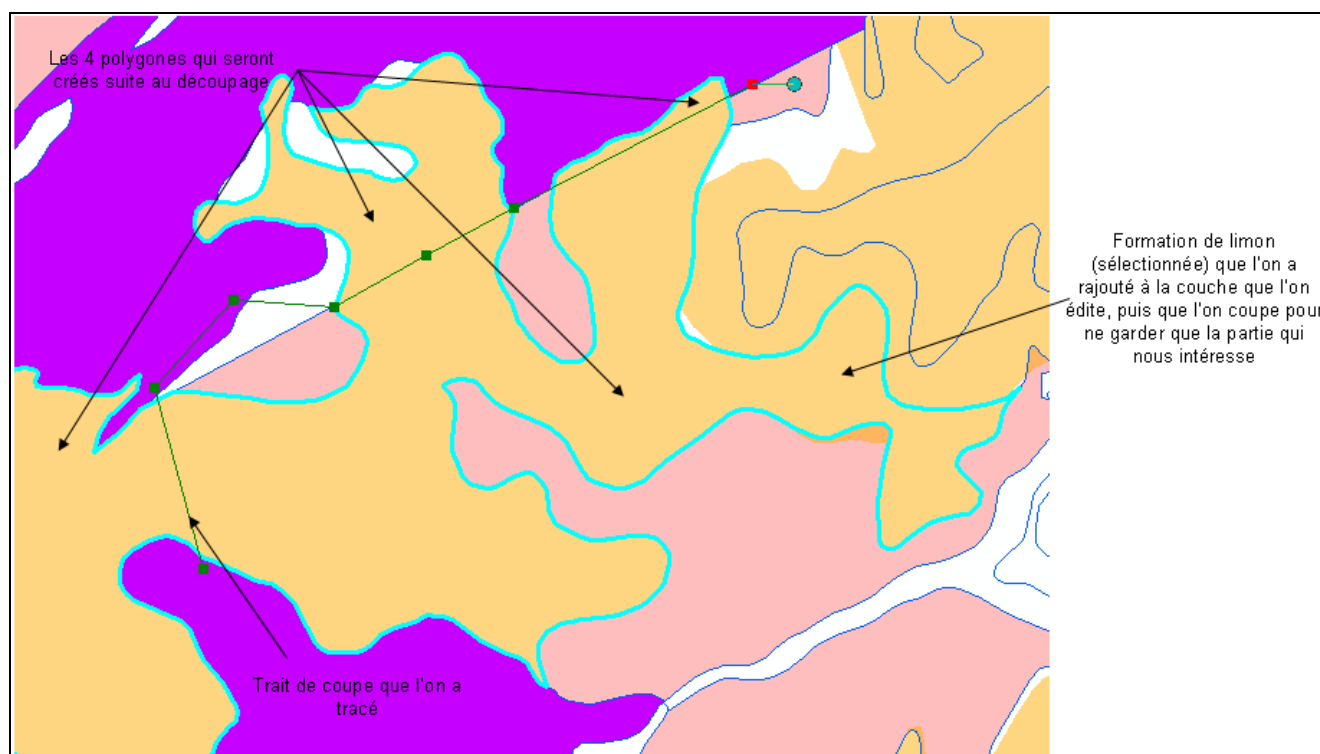
Ajouter d'abord dans la couche éditée la ou les formations géologiques qui recouvrent partiellement l'entité que l'on veut délimiter (de type limon, colluvions ou alluvions par exemple).

Il peut être nécessaire ensuite de couper ces polygones, couvrant également d'autres formations.

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



**Le premier et le dernier point doivent être en dehors du polygone que l'on coupe. Il suffit de double cliquer à la fin du tracé pour déclencher l'opération de coupe. Si l'opération n'est pas prise en compte, enregistrez les opérations au fur et à mesure (menu déroulant de gauche [*Save edits/Enregistrer les mises à jour*]).**



A l'issue du découpage, visible ci-dessus, il suffira de supprimer, parmi les quatre polygones que l'on vient de former, ceux que l'on estime être en dehors de l'emprise de l'entité à délimiter.

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

## 2.4 Opération de "clipping": découpage par polygone

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

Importer d'abord le polygone avec lequel on veut découper la couche ou bien le créer.

Si l'on souhaite découper la couche éditée selon plusieurs polygones, il est nécessaire de fusionner dans un premier temps ces polygones afin qu'ils n'en forment plus qu'un seul (« multipart »), car le découpage ne fonctionne que par ligne.

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

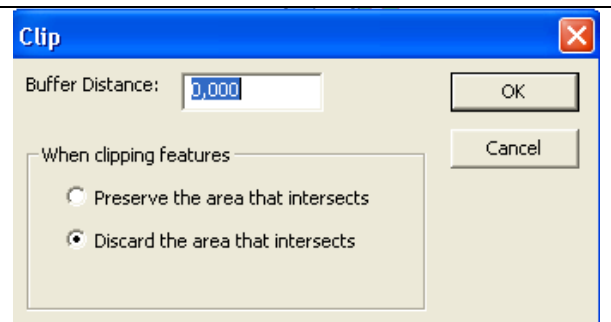


**Attention car l'opération de découpage est susceptible d'agir sur des formations que l'on ne veut pas découper ! Il faut absolument ne laisser, dans les couches sélectionnables, que celle que l'on est en train de découper et pour cela d'abord désélectionner toutes les entités sélectionnées. Il est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

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

Deux options sont possibles : on peut

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



L'utilisation d'un buffer est aussi possible pour le découpage.

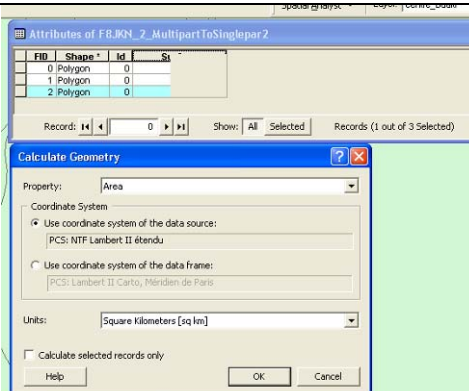
## 2.5 Finalisation des couches

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

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

Ouvrez la table attributaire de la couche, dans l'option cliquez sur [**Add field/Ajouter un champ**] et sélectionnez le type « float/réel double ».

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



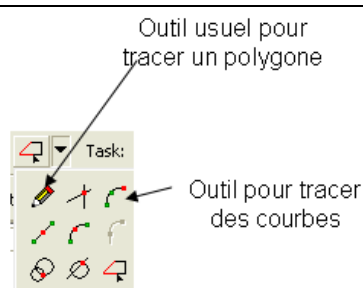
De manière générale, le temps de traitement est fonction de la quantité de polygones de la carte harmonisée. Plus cette quantité est importante, plus le temps de traitement est long.

### 3. Délimitation des parties sous couverture

En profondeur, le positionnement des limites de l'entité est plus délicat qu'en surface, par manque d'information. Par contre, une fois le choix fait, le tracé des contours est plus facile qu'au niveau des affleurements, les contours étant plus "simples".

#### 3.1. Tracé manuel

En général, le tracé doit être effectué à la main. Pour obtenir un résultat lisse, utiliser l'outil de tracé des polygones sous forme de courbes [**Arc Tool/Outil Arc**]



On peut, au cours du tracé, changer d'outil (illustration ci-dessus).

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

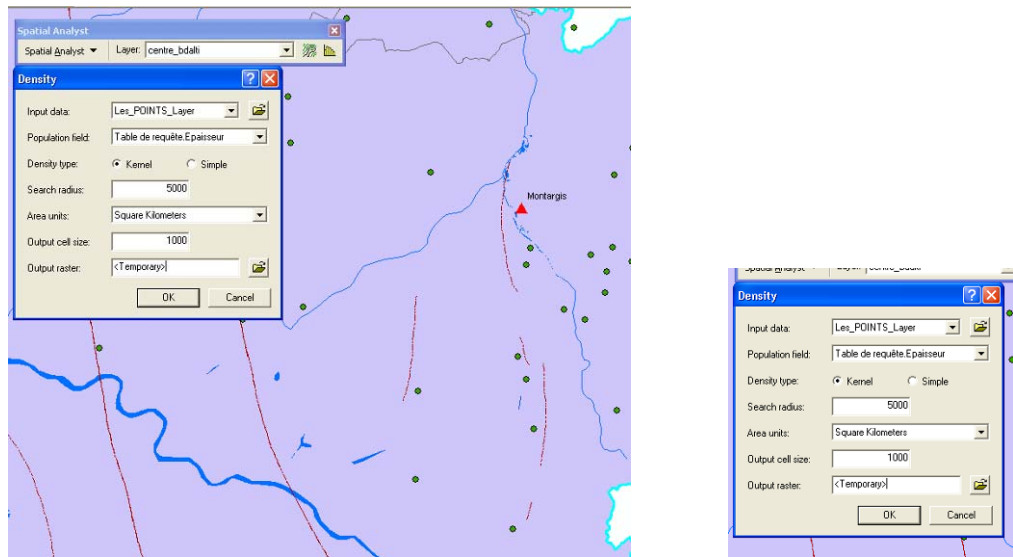


**Mais cette méthode risque de lisser des zones non souhaitées, le tracé manuel direct à l'aide de polygones reste le meilleur moyen.**

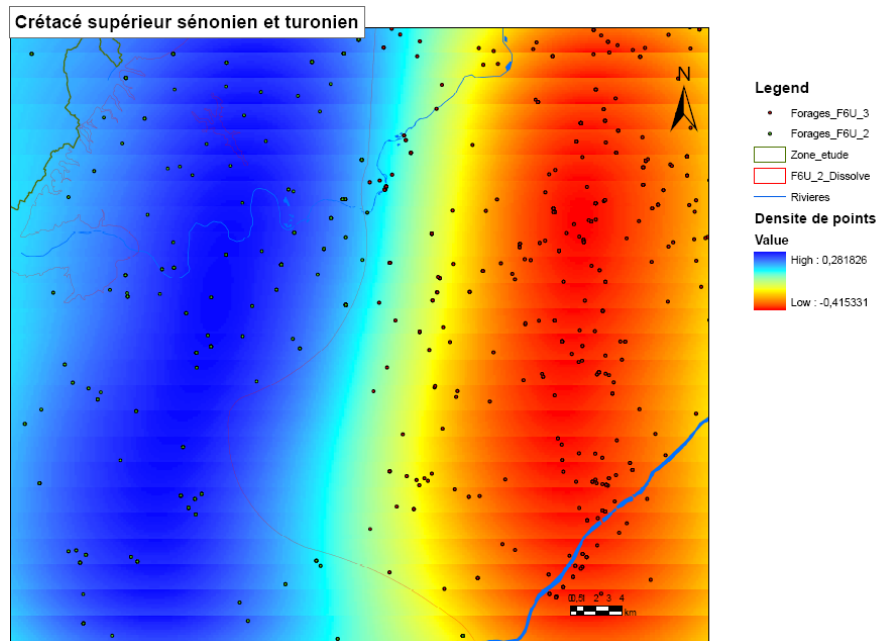
#### 3.2. Tracé à l'aide de la densité des forages

Il est possible d'utiliser certaines fonctions de calcul de [**Density/Densité**] dans ARCGIS. Pour cela, on sélectionne les forages correspondant à la formation, tout en évitant ceux qui sont proches de la surface. En effet, la densité de forages augmente en général lorsque la couche se rapproche de la surface. Une fois les forages sélectionnés, aller dans [**Spatial Analyst**], puis cliquer sur [**Density/Densité**].

Sélectionner parmi les couches proposées le fichier des forages. Préciser le rayon de recherche : plus le rayon est grand, plus les courbes seront lissées.



Exemple de carte en densité que l'on peut obtenir :



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



### Récapitulatif des termes techniques

Add field/**Ajouter un champ**  
Arc Tool/**Outil Arc**  
Attribute table/**Table attributaire**  
Calculate geometry/**Calculer la géométrie**  
Clear all/**Effacer tout**  
Clip/**Découper**  
Contour/**Isoligne**  
Copy/**Copier**  
Create multipart features/**Créer des entités multi-parties**  
Create new feature/**Créer une nouvelle entité**  
Customize/**Personnaliser**  
Cut polygon feature/**Découper des entités surfaciques**  
Data View/**Mode données**  
Definition query/Ensemble de définition  
Delete /**Supprimer**  
Delete selected/**Supprimer les enregistrements sélectionnés**  
Delete vertex/**Supprimer un sommet**  
Density/**Densité**  
Deselection/**Désélectionner**  
Dissolve/**Fusionner**  
Edit tool/**Outil mise à jour**  
Edit/**Edition**  
Editor/**Editeur**  
*Field Calculator*/**Calculer les valeurs**  
From the current display extent/**A partir de l'étendue actuellement affichée**  
Insert vertex/**Insérer des sommets]**  
Layer Properties/**Propriétés de la couche**  
Layout View/**Mode mise en page**  
Modify feature/**Modifier l'entité**  
Multipart to single part/Multi-parties vers une partie  
Neighbourhood statistics/**Statistiques de voisinage**  
Option/**Options**  
Paste/**Coller**  
population field/**champs ??**  
Query builder/**Générateur de requêtes**  
Reshape feature/**Remodeler l'entité**  
Save edits/**Enregistrer les mises à jour**  
Select all/**Sélectionner tout**  
Select by attributes/**Sélection par attributs**  
Selection/**Sélectionner]**  
Set selectable layers/Définir les couches sélectionnables  
Sketch Tool/**Outil Construction**  
Sketch Tool/**Outil de construction**  
Snapping/**Capture**  
**Source**  
**Spatial Analyst**  
Start editing/**Ouvrir une session de mise à jour**  
Stop editing/**Quitter la session de mise à jour**  
Symbology/**Symbologie**  
*Target*/**Cible**  
Task/**Tache**  
Toolbox/**Boîtes à outils**  
Tools/**Outils**  
Trace tool/**Outil traçage**  
Vertex/**Sommets**





**Centre scientifique et technique**  
**Service EAU**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34