

Document public

Référentiel Hydrogéologique Français - BDRHF Version2 Bassin Loire-Bretagne Année1

Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en région Centre

BRGM/RP-56055-FR
Décembre 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 06EAUA13

J.C. Martin, C. Zammit, C. Robelin
avec la collaboration de
J.J. Seguin et V. Mardhel

Vérificateur :

Original signé par: J.P. Leprêtre

Approbateur :

Original signé par : T. Pointet

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



Mots clés : Référentiel hydrogéologique, système aquifère, domaine hydrogéologique, région Centre.

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

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

© BRGM, 2005, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Sommaire

1. Introduction	5
2. Méthodologie de découpage des entités	9
2.1. TERMINOLOGIE.....	9
2.1.1. Les "thèmes" du référentiel	9
2.1.2. Les différents types d'entité hydrogéologique.....	9
2.1.3. Les niveaux d'identification	10
2.2. PRINCIPES ET DÉMARCHE	11
2.2.1. Principes de base du découpage	11
2.2.2. Démarche générale.....	11
2.2.3. Vérification de la topologie	12
3. Mise en œuvre du découpage des entités	13
3.1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE.....	13
3.1.1. Carte géologique harmonisée	13
3.1.2. Logs géologiques.....	13
3.2. ÉLABORATION DU TABLEAU MULTI-ÉCHELLES	13
3.3. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS	19
3.3.1. Construction du polygone global représentant une entité.....	19
3.3.2. Contrôle et traitements topologiques des entités	19
3.3.3. Restitution des polygones sous couvertures par le modèle de gestion... ..	22
3.3.4. Identification et cartographie des entités au niveau national.....	22
3.3.5. Caractérisation des contacts latéraux entre entités (codification des arcs)23	
4. Résultats	25
4.1. LA BASE DE DONNÉES DU RÉFÉRENTIEL	25
4.1.1. Les entités de niveaux 1 et 2.....	25
4.1.2. La surcouche des alluvions	31
4.1.3. Outils associés à la base de données	33
4.2. FICHES DESCRIPTIVES DES ENTITÉS.....	35

5. Bref descriptif des entités hydrogéologiques	39
5.1. ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES DU TERTIAIRE.....	39
5.1.1. Les sables et argiles du Bourbonnais	39
5.1.2. Les calcaires et les faluns de Touraine et d'Anjou	39
5.1.3. Les formations de Sologne.....	39
5.1.4. Les calcaires de Beauce (Eocène à Miocène).....	40
5.1.5. Les sables de Fontainebleau.....	41
5.1.6. Marnes vertes et supragypseuses Eocène	41
5.1.7. Les calcaires du Berry	41
5.1.8. Calcaires de Saint Ouen et sables de Monceau	42
5.1.9. Sidérolithique et formations de Brenne.....	42
5.1.10. Marnes et calcaires de l'Eocène moyen et inférieur.....	42
5.1.11. Argile à silex	43
5.2. FORMATIONS DU SECONDAIRE: LE CRÉTACÉ.....	43
5.2.1. La craie Séno-Turonienne	43
5.2.2. Les marnes à Ostracées cénomaniennes	44
5.2.3. Les sables du Cénomaniens	44
5.2.4. La Craie du Cénomaniens.....	46
5.2.5. Les argiles du Gault, marnes et gaizes du Cénomaniens inférieur	46
5.2.6. Les sables de l'Albien.....	46
5.2.7. Argiles de l'Aptien-Barrémien	46
5.2.8. Sables du Néocomien	46
5.3. FORMATIONS DU SECONDAIRE: LE JURASSIQUE	47
5.3.1. Les calcaires Tithoniens (Portlandien - Purbeckien).....	47
5.3.2. Marnes du Kimméridgien.....	48
5.3.3. Calcaires du Kimméridgien inférieur et de l'Oxfordien	48
5.3.4. Marnes Callovo-Oxfordiennes	48
5.3.5. Calcaires du Dogger (Bathonien à Bajocien).....	48
5.3.6. Marnes du Dogger.....	50
5.3.7. Marnes du Lias.....	50
5.4. FORMATIONS DU SECONDAIRE: LE TRIAS	50
5.4.1. Argiles et grès du Keuper (Trias).....	50
5.4.2. Sables et grès du trias moyen	50
6. Conclusion	53

Liste des illustrations

Illustration 1 – Zone d'étude.....	7
Illustration 2 –Types d'entités hydrogéologiques.....	9
Illustration 3 – Exemple de correspondance entre formations géologiques de la carte géologique harmonisée et entités hydrogéologiques.	15
Illustration 4 - Exemple de correspondance entre formations géologiques locales traversées par les forages validés et entités hydrogéologiques.	16
Illustration 5- Liste des systèmes aquifères et des domaines hydrogéologiques de niveaux NV1 et NV2.	17
Illustration 6 – Exemple d'affleurements extraits de la carte géologique harmonisée.....	20
Illustration 7- Délimitation d'une entité à partir du report de forages ayant traversé la formation : cas des Calcaires de Beauce	21
Illustration 8 - Nature des limites entre les entités géologiques du découpage BDRHFV2 de niveau régional NV2 (Nature A, B, C ou D).	24
Illustration 9 - Contenu de la base de données du référentiel dans ArcGis	25
Illustration 10 – Couche avec l' ensemble des polygones de niveau 2 et table associée	26
Illustration 11: Modèle conceptuel simplifié.....	27
Illustration 12- Couche de polygones et table associée où les entités sont rangées suivant leur ordre relatif d'apparition	28
Illustration 13 – Exemple de sélection d'entités.....	29
Illustration 14 – La couche des polygones et la table associée.	30
Illustration 15 – Types d'alluvions et sectorisation par grands bassins versants	32
Illustration 16 – Extraction d'une entité de la géodatabase	33
Illustration 17- Visualisation des objets "coupe_xx.shp" générés par le géotraitement "coupes synthétiques" (restitution ArcGis© 3D Analyst)	34
Illustration 18- Exemple de fiche descriptive d'une entité de niveau 1.....	36
Illustration 19 - Exemple de fiche descriptive d'une entité de niveau 2.....	37
Illustration 20 – Caractérisation des entités hydrogéologiques.....	38
Illustration 21 – Répartition des niveaux calcaires dans le Jurassique.	47
Illustration 22 - Répartition des faciès du Dogger dans le Bassin Parisien.....	49
Illustration 23 -Lithofaciès du Lias dans l'Indre et le Cher	52

...

1. Introduction

La deuxième version du référentiel hydrogéologique français, nommée BDRHF-V2 (*Base de Données du Référentiel Hydrogéologique Français – Version 2*), est en cours de réalisation.

Ce travail a été confié au BRGM par le Ministère de l'Ecologie du Développement et de l'Aménagement durables qui apporte, avec les Agences de l'Eau, un soutien financier à l'opération. Il est mené sous la direction d'un comité de pilotage, dont le secrétariat est assuré par la Direction de l'Eau du MEDAD.

La construction du référentiel a débuté en 2006 (année 1 du projet) et se poursuivra jusqu'en 2009 suivant un calendrier de réalisation établi par le comité de pilotage. Elle s'appuie sur un premier travail de type méthodologique, mené sur la période 2001-2003, qui 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 listées;
- de mettre au point une méthodologie de découpage sur la base de 6 tests réalisés sur le territoire de chacune des Agences de l'Eau;
- d'élaborer un modèle conceptuel de données pour l'élaboration de la base de données du Référentiel.

Les documents produits à l'issue de cette première phase sont listés en "*Références bibliographiques*".

En 2004 le programme de construction du référentiel a été différé et remplacé par la délimitation des masses d'eau souterraine, conformément à la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE).

Objectif de la version 2

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 doit tenir compte aussi de l'évolution des connaissances géologiques et hydrogéologiques. L'harmonisation des cartes géologiques au 1/50 000 sera bientôt achevée sur tout le territoire et les points de vue sur la délimitation des entités hydrogéologiques se sont affinés, conduisant à une nécessaire révision des premières délimitations.

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

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.

Zone d'étude

Le travail engagé dans le bassin Loire-Bretagne en année 1 du projet concerne les formations sédimentaires de la région Centre allant du Quaternaire au Trias. Il a été réalisé dans le cadre de deux conventions signées en 2006: BRGM et Direction de l'Eau du MEDAD d'une part, BRGM et Agence de l'Eau Loire-Bretagne d'autre part.

La zone d'étude correspond à la région Centre (dont une partie est située dans le bassin Seine-Normandie) et 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 de la région Île de France (illustration1). Son emprise représente une superficie totale d'environ 41000 km² (dont 39500 km² pour la région Centre).

Les couches sédimentaires du Bassin Parisien forment un empilement plus ou moins régulier qui s'appuie sur les terrains anciens du Massif Central. Dans la région Centre, ces terrains dessinent des arcs successifs depuis les terrains les plus récents du Plio-Quaternaire de la Sologne et de la forêt d'Orléans, jusqu'aux couches les plus anciennes du Trias tout au sud. Ces terrains s'appuient sur la bordure septentrionale du socle cristallin et métamorphique du Massif Central. A cet empilement se superposent les alluvions récentes des cours d'eau.

C'est au sein de cet ensemble sédimentaire, allant du Trias jusqu'aux terrains les plus récents des alluvions des rivières qui traversent cette région, que de nombreuses couches géologiques constituent des réservoirs aquifères dont certains, d'importance régionale, sont très sollicités pour l'AEP et l'irrigation.

Le présent rapport rend compte du découpage des entités réalisé aux niveaux national et régional (NV1 et NV2).

Le niveau local, en région Centre, est prévu en 2008 dans le cadre d'une convention particulière avec l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

...

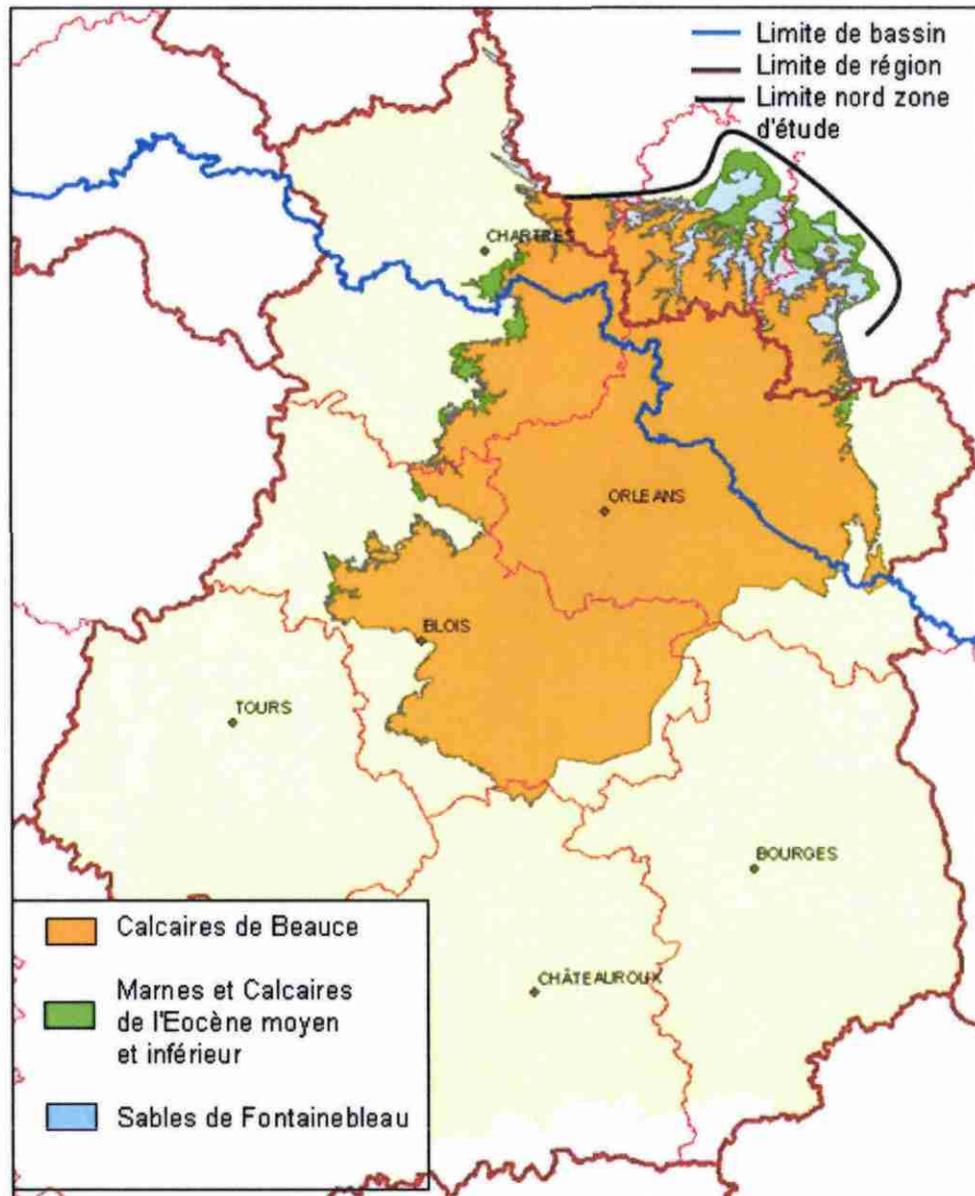


Illustration 1 – Zone d'étude

2. Méthodologie de découpage des entités

Le travail a été effectué conformément aux recommandations du guide méthodologique national de découpage des entités édité en 2003 par le BRGM (rapport BRGM RP-52264-FR) et aux propositions faites en 2007 dans le cadre de l'actualisation de ce guide demandée par le comité de pilotage du Référentiel. Bien que dans cette étude le découpage n'ait pas concerné le niveau 3 du Référentiel, on fait néanmoins état, pour mémoire, des caractéristiques s'y rapportant.

2.1. TERMINOLOGIE

On rappelle succinctement les définitions et les points importants de la méthodologie nationale repris dans cette étude.

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.

Dans cette étude ne sont concernés que les thèmes sédimentaires et alluviaux.

2.1.2. Les différents types d'entité hydrogéologique

Une entité hydrogéologique est définie comme 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 (illustration 2 ci-après):

	Aquifère		Peu aquifère
Niveau National (NV1)	Grand système aquifère		Grand domaine hydrogéologique
Niveau Régional (NV2)	Système aquifère		Domaine hydrogéologique
Niveau Local (NV3)	Unité aquifère	Unité semi-perméable	Unité imperméable

Illustration 2 – Types d'entités hydrogéologiques

- **Le grand système aquifère**

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**

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**

Un système aquifère est une entité hydrogéologique aquifère issue d'une subdivision verticale ou horizontale d'un grand système aquifère ou d'un grand domaine hydrogéologique. La subdivision s'effectue sur, au moins l'un des critères suivants : lithologique, structural, stratigraphique, piézométrique, géochimique, hydraulique.

- **Le domaine hydrogéologique**

Un domaine hydrogéologique est une entité hydrogéologique peu aquifère issue d'une subdivision verticale ou horizontale d'un grand domaine hydrogéologique ou d'un grand système. La subdivision s'effectue sur, au moins l'un des critères suivants : lithologique, structural, stratigraphique, piézométrique, géochimique, hydraulique.

- **L'unité aquifère**

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.

- **L'unité semi-perméable**

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 exploitée.

- **L'unité imperméable**

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 objets hydrogéologiques ont été retenus dans cette nouvelle version de la BD RHF. Ils correspondent à des échelles de visualisation cartographiques différentes :

- 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,...).

Ces niveaux d'utilisation reflètent les besoins très différents des futurs utilisateurs du référentiel. Ils ne définissent pas les échelles de numérisation (précision du contour) mais correspondent à différentes échelles d'utilisation et de représentation de l'information.

2.2. PRINCIPES ET DÉMARCHE

2.2.1. Principes de base du découpage

Conformément au guide méthodologique, l'échelle de travail adoptée pour le découpage des entités est le 1/50 000, 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 (précision des contours des formations géologiques des cartes géologiques au 1/50 000).

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 n'y a donc pas de simplification des contours (pas de 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 en fonction de la progression des connaissances.

2.2.2. Démarche générale

Le niveau structurant est en règle générale le niveau régional, toutefois la démarche de découpage est largement itérative et un traitement synchrone des niveaux 2 et 3 permet d'optimiser le processus de découpage.

Les principales étapes de la délimitation des entités sont les suivantes.

- **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 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 d'en avoir une extension territoriale indicative.

- **Elaboration du tableau multi-échelles**

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 des entités. Les entités intégrées dans le tableau multi-échelles sont issues de l'analyse des cartes géologiques au 1/50 000, des données recensées dans la zone d'étude (notamment celles des logs géologiques validés) et de différentes sources documentaires.

La difficulté de cette étape est l'établissement d'une correspondance stricte entre entités hydrogéologiques et formations géologiques des cartes au 1/50 000 (après harmonisation) d'une part et entre formations géologiques des cartes et formations géologiques mentionnées dans les logs de forage d'autre part.

- **Individualisation de l'alluvial (intégration dans une "sur-couche" du SIG)**

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 qui sont appliqués aux autres entités (multiplication des polygones et des "arcs" limites). Les alluvions sont donc intégrées dans le SIG dans une couche particulière (une "sur-couche"); elles sont extraites des cartes géologiques au 1/50 000 et sont maintenues inchangées dans leurs contours quel que soit le niveau (NV1, NV2, NV3).

Les entités sous recouvrement alluvionnaire apparaissent donc, dans le SIG, comme "affleurantes".

Les terrasses alluvionnaires dites anciennes, peu aquifères et non connectées aux cours d'eau, ne sont pas prises en compte dans le thème alluvial. Elles font l'objet d'une identification particulière et sont rattachées au thème sédimentaire.

- **Découpage des formations sédimentaires**

Le thème "sédimentaire" regroupe les grands ensembles sédimentaires identifiés, les formations superficielles continentales quaternaires correspondant à des moraines, des alluvions anciennes déconnectées hydrauliquement du cours d'eau ou des dépôts sableux éoliens.

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

Les limites des entités sous couvertures sont établies ou précisées à partir des logs géologiques extraits de la BSS et des connaissances géologiques et hydrogéologiques acquises à l'occasion d'études effectuées dans le secteur. En profondeur, de nombreuses limites seront à considérer comme des limites d'interprétation, modifiables en fonction de la progression des connaissances.

2.2.3. Vérification de la topologie

Lorsque toutes les entités sont découpées, il s'agit de vérifier la cohérence topologique de l'ensemble. Cette vérification est assurée par le modèle de gestion du référentiel mis au point dans le cadre du projet. Ce modèle de gestion, supporté par le SIG ArcGIS, est présenté en annexe 2.

3. Mise en œuvre du découpage des entités

3.1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE

Pour la mise en œuvre du découpage ont été utilisés:

- les cartes géologiques vectorisées et harmonisées de la région Centre à l'échelle du 1/50 000;
- les logs validés des forages extraits de la Banque de données du Sous-Sol;
- les polygones des entités issus du découpage indicatif effectué aux niveaux 1 et 2 lors de la phase méthodologique d'élaboration du référentiel;
- les informations et cartes issues de différents rapports d'études (cf références bibliographiques).

3.1.1. Carte géologique harmonisée

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

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

3.1.2. Logs géologiques

De la Banque de Données du Sous-Sol, **13910 forages** ont été extraits, totalisant **171348 passes lithologiques** décrites et validées.

Ces passes lithologiques sont rattachées à **344 formations géologiques** différentes, dont :

- 3 de remblais, sol, dépôts anthropiques,
- 41 alluviales, colluviales ou éoliennes,
- 114 du Tertiaire,
- 90 du Crétacé,
- 96 du Jurassique et du Trias.

3.2. ÉLABORATION DU TABLEAU MULTI-ÉCHELLES

Le premier travail a consisté à établir une correspondance entre entités hydrogéologiques et formations géologiques. Le point de départ est la liste des entités de niveau 2 établie lors de la phase méthodologique d'élaboration du référentiel.

Cette correspondance est réalisée en 2 étapes:

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

Une entité hydrogéologique de niveau régional peut être rattachée à une ou plusieurs formations géologiques cartographiées : un exemple en est donné par l'illustration 3.

2) Dans une deuxième étape, établissement de la correspondance entre les formations géologiques locales (traversées en forages, au nombre de 344) et celles régionales, cartographiées dans la carte géologique harmonisée (au nombre de 168).

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

Un exemple d'une telle correspondance est fourni par l'illustration 4.

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

Le tableau multi-échelles définitif a été construit à l'issue des 2 étapes décrites ci-dessus.

Ce nouveau tableau complète celui issu de la phase de pré-découpage des entités (2001-2003). Les ajustements effectués correspondent essentiellement à des entités supplémentaires révélées dans la phase d'analyse des données.

Au total, ont été identifiées (tableau de l'illustration 5):

- **32 entités de niveau régional** dont 16 systèmes aquifères et 16 domaines
- **12 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1)**

A ces entités, s'ajoutent les formations alluvionnaires.

Remarques: les modifications apportées à la liste initiale des entités sont les suivantes.

- 1) Les "Calcaires de Champigny" ont été rattachés aux marnes et calcaires éocènes (Ludien).
- 2) Dans le Crétacé inférieur 2 systèmes aquifères ont été définis : les sables de l'Albien (F8HIM) et les Sables du Néocomien (F80); ils sont séparés par un domaine constitué par les Argiles de l'Aptien-Barrémien (F8JKN).
(d'après rapport BRGM R39702 "*Synthèse hydrogéologique du Crétacé inférieur du bassin de Paris*" - 1997)
- 3) Dans le Jurassique, ont été définis 2 systèmes aquifères: "*Calcaires du Kimmeridgien inférieur et de l'Oxfordien*" (F10F) et "*Calcaires du Dogger(Bathonien-Callovien*" (F11KLMOR) séparés par le domaine des "*Marnes Callovo-oxfordiennes*" (F10G).
(d'après rapport BRGM RP-51887 "*Etude des nappes du Jurassique dans les départements du Cher et de l'Indre*" - 2002).

Formations de la carte géologique harmonisée		Entités hydrogéologiques BDRHFV2	
CODE GEOL	NOM	Code Régional	NOM
30	Sables grossiers, quartzo-feldspathiques argileux, à cordons de galets, sables à galets de quartz, silex et chaille, dans la formation des Sables et argiles du Bourbonnais	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
31	Formation argileuse, sablo-argileuse dans la formation des Sables et argiles du Bourbonnais (Pliocène-Quaternaire)	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
32	Sables et argiles du Bourbonnais, indifférenciés (Pliocène-Quaternaire)	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
37	Sables et argiles de Sologne (Sables de Châtillon). Sables hétérométriques, quartzo-feldspathiques, et argiles interstratifiées (Langhien supérieur à Pliocène inférieur)	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
33	Formation d'Ardentes : sables, graviers et argiles (Pliocène)	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
39	Faluns de Touraine (Langhien-Tortonien)	F2B	Faluns de Touraine et d'Anjou
40	Formation des Sables d'Herbault : sables et argiles (Burdigalien)	F2B	Faluns de Touraine et d'Anjou
37	Sables et argiles de Sologne (Sables de Châtillon). Sables hétérométriques, quartzo-feldspathiques, et argiles interstratifiées (Langhien supérieur à Pliocène inférieur)	F2C	Formations de Sologne
28	Cailloutis culminants de la Forêt d'Orléans (Sables de Lozère) (Pliocène)	F2C	Formations de Sologne
38	Sables de Montreuil, Sables et graviers continentaux (Burdigalien)	F2C	Formations de Sologne
41	Formation de l'Orléanais et du Blésois : sables, marnes et calcaires de Montabuzard (Burdigalien)	F2C	Formations de Sologne
50	Sables et grès de Fontainebleau (Rupélien)	F3A	Sables de Fontainebleau
42	Calcaire de l'Orléanais (Burdigalien)	F3C	Calcaires de Beauce
45	Calcaire de Pithiviers (Aquitarien)	F3C	Calcaires de Beauce
46	Molasse du Gâtinais, Marnes vertes de la Neuville-sur-Essonnes, Marne de Voise (Aquitarien)	F3C	Calcaires de Beauce
49	Calcaire d'Etampes (Essonnes), Meulières, marnes, Calcaires du Gâtinais (Rupélien)	F3C	Calcaires de Beauce
43	Marnes de Blamont (Aquitarien)	F3C	Calcaires de Beauce
54	Calcaires lacustres et marnes (Briare, Gien, Lion-en-Sulias, Coulevre, Magny, Septeuil, Touraine, Poitou, Berry) (Priabonien-Rupélien)	F3D	Calcaires de Touraine
60	Marnes vertes indifférenciées (Marnes supragypseuses) (Priabonien)	F3F	Marnes vertes et supragypseuses Eocène (Sannoisien-Ludien)

Illustration 3 – Exemple de correspondance entre formations géologiques de la carte géologique harmonisée et entités hydrogéologiques.

Formations géologiques traversées par les forages validés		Entités hydrogéologiques	
CODE	NOM	CODE	NOM
10010	Sable post-Helvétien	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
10014	Sables et graviers mio-pliocènes	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
10030	Formation d'Ardentes	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
10080	Sables de Châtillon-sur-Loire	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
10090	Sables et argiles du Bourbonnais	F2A	Sables et argiles du Bourbonnais
11020	Falun du Blésois	F2B	Faluns de Touraine et d'Anjou
11100	Falun à Crassostrea crassissima	F2B	Faluns de Touraine et d'Anjou
12120	Sables d'Herbault	F2B	Faluns de Touraine et d'Anjou
12250	Faluns de Touraine	F2B	Faluns de Touraine et d'Anjou
11070	Sable de Montreuil	F2C	Formations de Sologne
12110	Sables et argiles de Sologne	F2C	Formations de Sologne
12111	Marnes et sables de l'Orléanais et du Blésois	F2C	Formations de Sologne
12200	Marnes et sables de l'Orléanais	F2C	Formations de Sologne
12210	Marnes de l'Orléanais	F2C	Formations de Sologne
12211	Argiles de l'Orléanais	F2C	Formations de Sologne
12220	Sables de l'Orléanais	F2C	Formations de Sologne
13010	Calcaires de Beauce	F3C	Calcaires de Beauce
13110	Marne de Blamont	F3C	Calcaires de Beauce
13120	Calcaire de Pithiviers	F3C	Calcaires de Beauce
13140	Calcaire de l'Orléanais	F3C	Calcaires de Beauce
13220	Molasse du Gâtinais	F3C	Calcaires de Beauce
14110	Calcaire d'Etampes (Calcaire du Gâtinais)	F3C	Calcaires de Beauce
14171	Meulière de Montmorency	F3C	Calcaires de Beauce
14360	Calcaire lacustre de Touraine	F3D	Calcaires de Touraine
21020	Calcaires lacustres éocènes	F4A	Calcaires de Champigny
21020	Calcaires lacustres éocènes	F4B	Calcaires de Champigny Sud
14060	Calcaire lacustre du Berry	F4C	Calcaires du Berry
21340	Calcaire de Briare	F4C	Calcaires du Berry
21360	Calcaire du Berry	F4C	Calcaires du Berry
21390	Marnes et calcaires lacustres du Nivernais	F4C	Calcaires du Berry
21380	Calcaire de Lys-Saint-Georges	F4D	Calcaires d'Anjou
23460	Calcaire d'Anjou	F4D	Calcaires d'Anjou
21420	Argiles de Lignières	F4E	Calcaires de Saint-Ouen, sables de Monceau (= marinésien)
23491	Formation de Brenne	F4F	Sidérolithique et formations de Brenne Substrat Eocène
23510	Argiles à pisolithes ferrugineuses	F4F	Sidérolithique et formations de Brenne Substrat Eocène
28100	Faciès sidérolithique	F4F	Sidérolithique et formations de Brenne Substrat Eocène

Illustration 4 - Exemple de correspondance entre formations géologiques locales traversées par les forages validés et entités hydrogéologiques.

Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF - Version 2 – Bassin Loire-Bretagne - Année 1.
 Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en région Centre

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 Kimméridgien	Domaine
F10	F10F	Jurassique sup.	Calcaires du Kimmeridgien inférieur et de l'Oxfordien	Système aquifère
F10	F10G	Jurassique moyen	Marnes callovo-oxfordiennes	Domaine
F11	F11IKLMOR	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 5 - Liste des systèmes aquifères et des domaines hydrogéologiques de niveaux NV1 et NV2.

3.3. DÉCOUPAGE DES ENTITÉS

La mise au point d'un modèle de gestion du référentiel sous ArcGis (cf annexe 2) a permis de simplifier les opérations de découpage, le modèle de gestion se chargeant d'identifier automatiquement les parties sous couvertures d'après l'ordre de superposition des entités mentionné dans le tableau multi-échelles (numéro d'ordre correspondant à un âge stratigraphique).

Le travail sous SIG consiste donc essentiellement à délimiter globalement chaque entité à partir des limites des parties affleurantes, extraites de la carte géologique harmonisée, et des limites en profondeur tracées à partir des informations disponibles, en particulier les logs de forages.

Le positionnement relatif de l'entité par rapport aux entités situées "au dessus" et "au dessous" d'elle ("qui recouvre quoi ") est reconstitué par le modèle de gestion (§ 3.3).

3.3.1. Construction du polygone global représentant une entité

Parties affleurantes

Pour chaque entité hydrogéologique, les polygones correspondant aux formations affleurantes ont été extraits de la carte géologique harmonisée (illustration 6). Les polygones constituant l'entité sont ensuite regroupés dans une couche SIG propre à l'entité considérée. Les limites d'affleurements de l'entité sont ensuite tracées à partir des contours des polygones affleurants (contours préalablement sélectionnés puis extraits). 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.

Parties sous couvertures

Celles-ci sont tracées:

- à l'aide du report, dans la couche SIG mentionnée ci-dessus, des forages ou sondages ayant traversé, totalement ou partiellement les formations géologiques constitutives de l'entité hydrogéologique concernée (illustration 7).
- du positionnement des affleurements de formations plus anciennes que celle étudiée;
- des informations provenant d'études sectorielles.

Polygone global de l'entité

Le polygone global de l'entité est obtenue en fusionnant les limites d'affleurements et les limites sous couvertures.

3.3.2. Contrôle et traitements topologiques des entités

A l'aide des fonctionnalités topologiques d'ArcGis, le modèle de gestion du Référentiel permet de repérer des anomalies de découpage, des lacunes de couvertures inter-entités,... Il permet ensuite d'éliminer tous les polygones qui résultent d'artefacts de découpage (après vérification d'une absence de réalité géologique) et tous ceux dont la superficie est trop faible pour représenter un intérêt au niveau régional ou national.

Les parties sous couvertures sont identifiées automatiquement par le modèle de gestion à partir du numéro d'ordre absolu figurant dans le tableau multi-échelles.

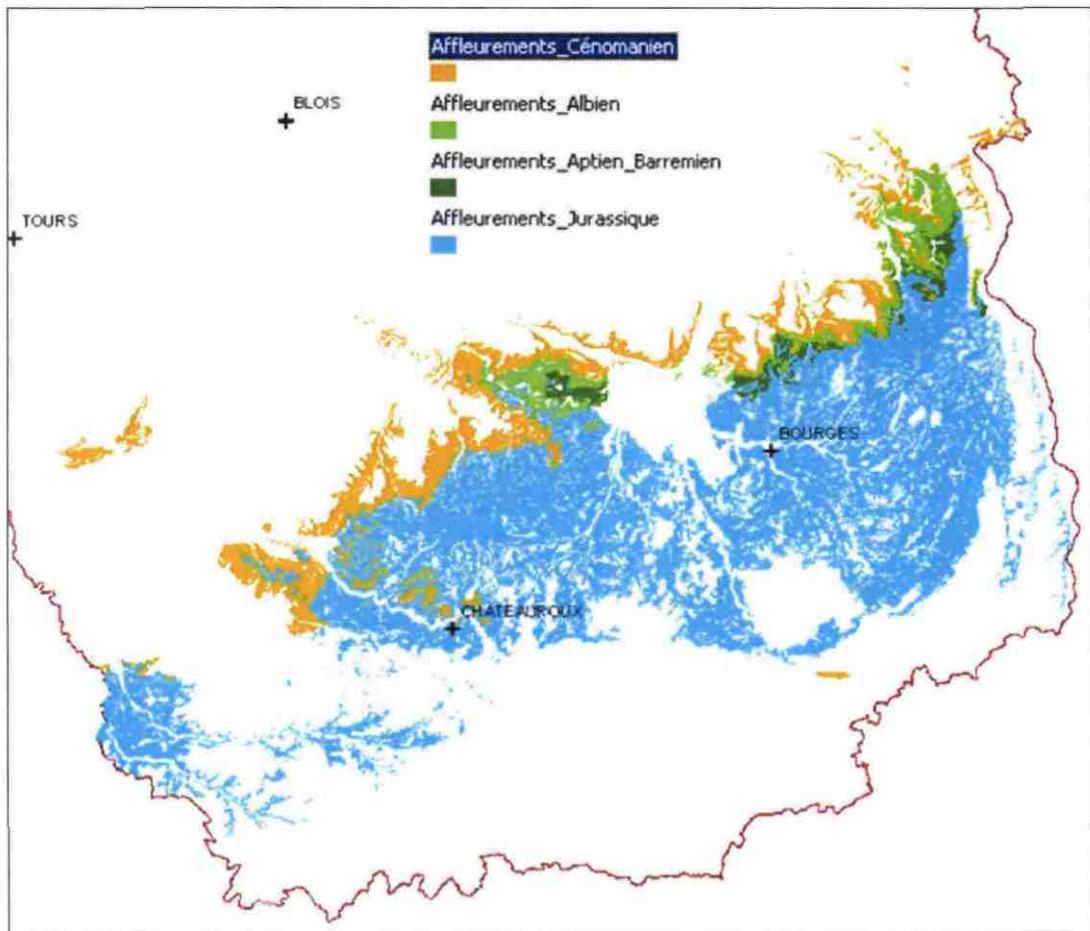


Illustration 6 – Exemple d'affleurements extraits de la carte géologique harmonisée

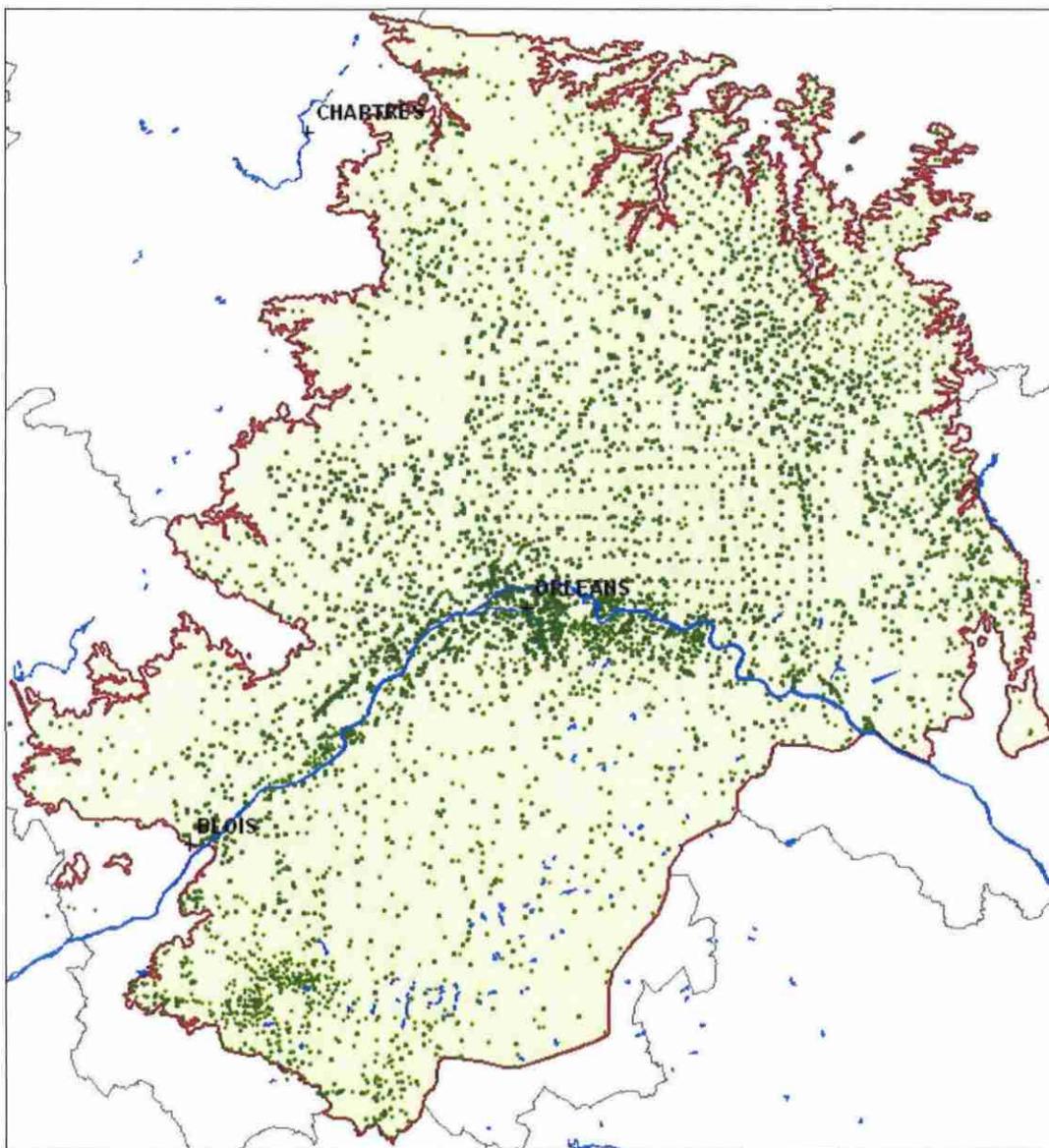


Illustration 7- Délimitation d'une entité à partir du report de forages ayant traversé la formation : cas des Calcaires de Beauce

3.3.3. Restitution des polygones sous couvertures par le modèle de gestion

Le modèle de gestion du référentiel (annexe 2) permet de passer de la superposition stratigraphique des entités, définie dans le tableau multi-échelles par un numéro d'ordre dit "absolu", à une superposition définie par un numéro d'ordre dit "relatif", superposition qui identifie totalement les différents niveaux de recouvrement d'une entité donnée, entité qui sera par exemple constituée:

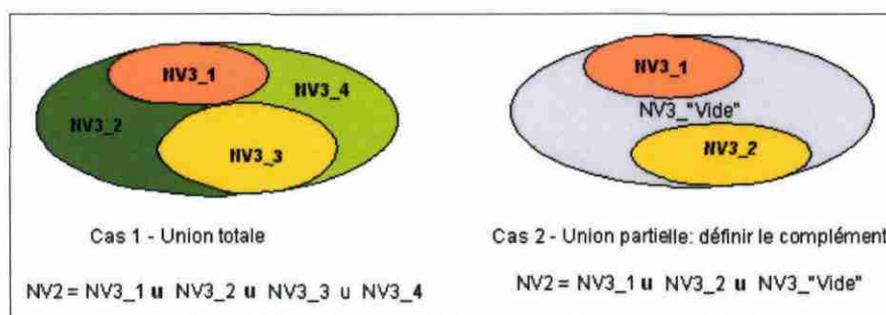
- d'un polygone d'ordre relatif 1, c'est-à-dire à l'affleurement,
- d'un polygone d'ordre relatif 2, correspondant au recouvrement de l'entité par une autre entité E_j ,
- d'un polygone d'ordre relatif 3, correspondant au recouvrement de l'entité par une entité E_k , elle même sous l'entité E_j ...
-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

Ces concepts d'ordonnancement absolu et d'ordonnancement relatif sont décrits en annexe 2.

3.3.4. Identification et cartographie des entités au niveau national

A partir du découpage des entités effectué au niveau local (NV2) et du tableau multi-échelles faisant apparaître les 2 niveaux de découpage (NV2 et NV1) le modèle de gestion du référentiel permet de constituer automatiquement le niveau national par agrégation des entités de niveau régional.

Cela impose qu'une entité de niveau 2 (ou de niveau 1) doit être, en totalité, constituée par la réunion d'entités de niveau 3 (respectivement de niveau 2), en définissant éventuellement un "complément" comme illustré par le schéma ci-dessous).



3.3.5. Caractérisation des contacts latéraux entre entités (codification des arcs)

Les limites latérales entre une entité et ses voisines ont été représentées uniquement pour les polygones d'ordre relatif 1 (affleurant) du niveau régional (NV2). Celles-ci sont caractérisées par un attribut associé à l'arc étudié.

Les limites sous couverture ne sont pas qualifiées d'un point de vue hydraulique.

Les limites entre entités sont extraites automatiquement par le modèle de gestion du référentiel sous forme d'un tableau qu'il suffit alors de compléter avec la nature de la limite puis de réintroduire dans le SIG (par jointure avec la table des limites).

Dans cette étape de découpage des entités de la BDRHFV2, on distingue 4 types de limite entre les entités géologiques (nature A, B, C ou D). Celles-ci ont été déduites de la typologie des contours présentée dans le rapport BRGM/RP-52262-FR (janvier 2003). La typologie du rapport 2003 prévoit 11 types de limite qui tiennent compte du tracé des cours d'eau ou des crêtes piézométriques. Le découpage actuel ne tient compte que des contours géologiques des entités. La correspondance entre ces 4 types et la typologie du rapport 2003 est indiquée ci-dessous.

Nature des limites	Typologie 2003
A - système aquifère sur domaine hydrogéologique	Limite étanche (Fig. 11) et ligne de sources de déversement (Fig. 14).
B - domaine hydrogéologique sur système aquifère	Ligne d'affluence d'un aquifère captif à un aquifère libre (Fig. 12) et ligne de débordement continue ou discontinue (Fig. 15).
C - domaine hydrogéologique en contact avec un domaine hydrogéologique	Schéma non prévu.
D - système aquifère en contact avec un système aquifère	Ligne d'affluence des eaux de formations perméables/semi-perméables à un aquifère libre emboîté ou à un autre aquifère en contact par faille (Fig. 13).

On présente sur l'illustration 8 les 4 types de limite du découpage BDRHFV2 de niveau régional NV2 (Nature A, B, C ou D).

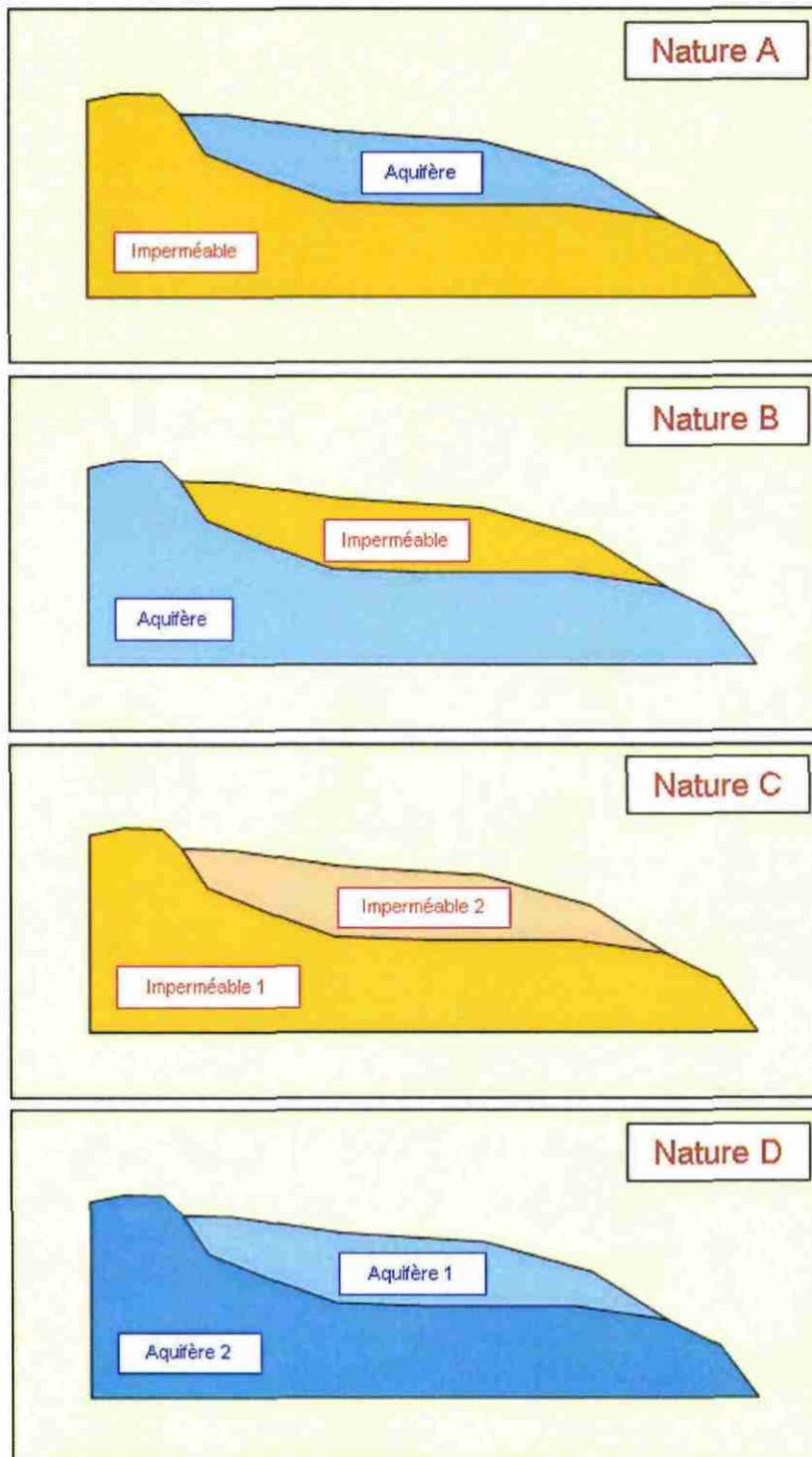


Illustration 8 - Nature des limites entre les entités géologiques du découpage BDRHFV2 de niveau régional NV2 (Nature A, B, C ou D).

4. Résultats

4.1. LA BASE DE DONNÉES DU RÉFÉRENTIEL

La base de données du référentiel est supportée par le logiciel ArcGIS. Il s'agit d'une "géodatabase" contenant (illustration 9):

- 1) la base des entités (hors alluvions) "NV1_NV2",
- 2) la base des alluvions "Sur_couche_Alluvions",
- 3) les lexiques utilisés pour caractériser les entités

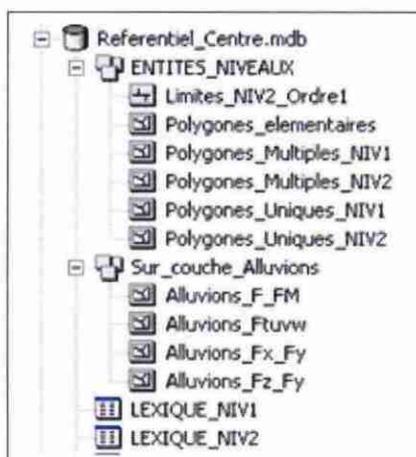


Illustration 9 - Contenu de la base de données du référentiel dans ArcGIS

4.1.1. Les entités de niveaux 1 et 2

La base des entités hydrogéologiques (appelée "ENTITES_NIVEAUX", "jeu de classes d'entités" dans le langage ArcGIS) contient 5 couches de polygones et une couche de polygones correspondant aux limites des entités de niveau 2.

1) Polygones Multiples NIV1 et NV2

il s'agit des couches de niveaux 1 et 2 contenant l'ensemble des polygones issus des opérations d'intersection des entités les unes avec les autres. Elles sont nommées (illustration 9 ci-dessus): *Polygones_Multiples_NIV1*, *Polygones_multiples_NIV2*.

Les tables attributaires de ces couches sont constitué de plusieurs champs dont:

- le numéro du polygone : **Numero_Polygone**,
- le code de l'entité, **Entite**
- l'ordre relatif d'apparition sur une verticale (calculé par le modèle de gestion du référentiel), **Ordre_Relatif**

Pour les entités de niveau 2 sont associés les champs suivants :

- l'ordre absolu d'apparition, **Ordre_absolu**, conforme à l'ordre stratigraphique des formations géologiques;

- le rang absolu d'apparition conforme à la l'organisation verticale des entités pour le territoire géographique étudié, il est dérivé de l'ordre absolu, **rang_absolu**.

Pour les entités de niveau 1 sont associés les champs suivants :

- **Ordre_Relatif_NIV2_Minimal** : il s'agit de la valeur du plus petit ordre relatif associé aux des entités de niveau 2 qui sont assemblées pour composer cette entité de niveau 1
- **Ordre_Relatif_NIV2_Maximal** : il s'agit de la valeur du plus grand ordre relatif associé aux des entités de niveau 2 qui sont assemblées pour composer cette entité de niveau 1

Un exemple de structure de cette table assorti de la visualisation de la couche des polygones de niveau 2 est fourni par l'illustration 10.

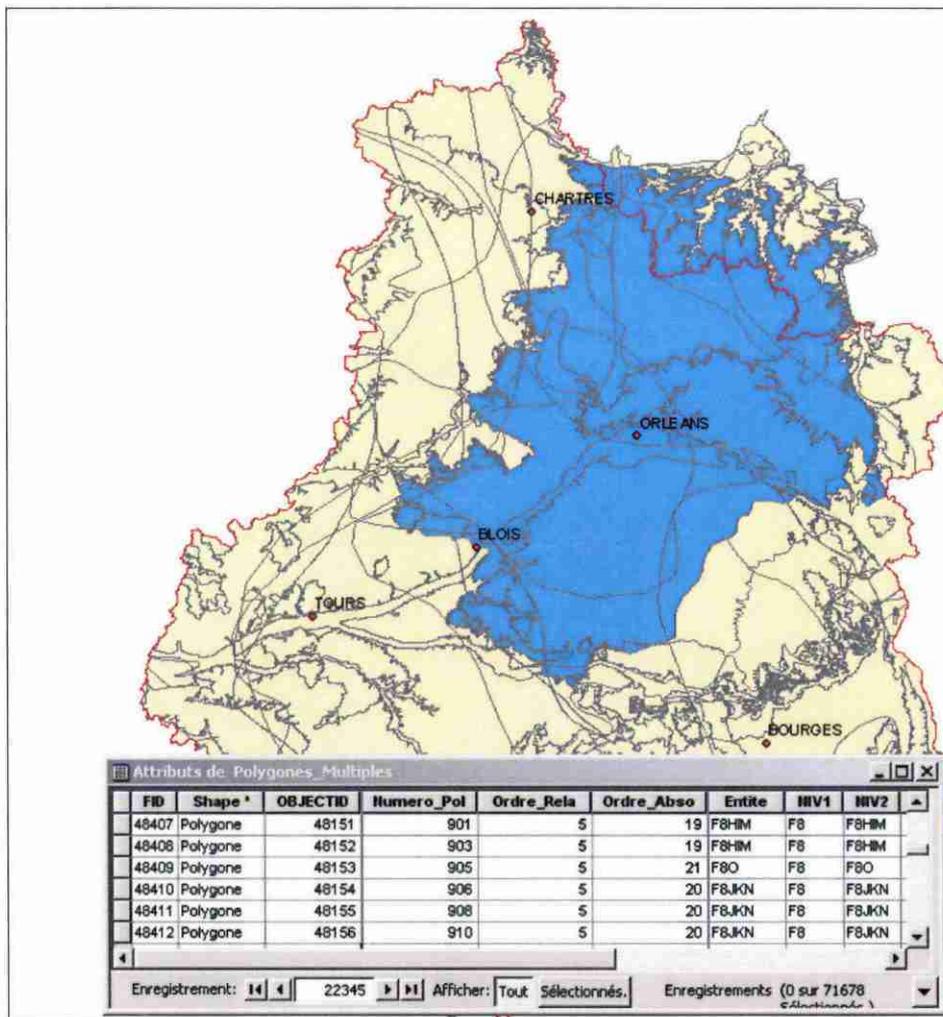


Illustration 10 – Couche avec l' ensemble des polygones de niveau 2 et table associée

Le modèle conceptuel simplifié de la base est présenté par l'illustration 11 ci-après.

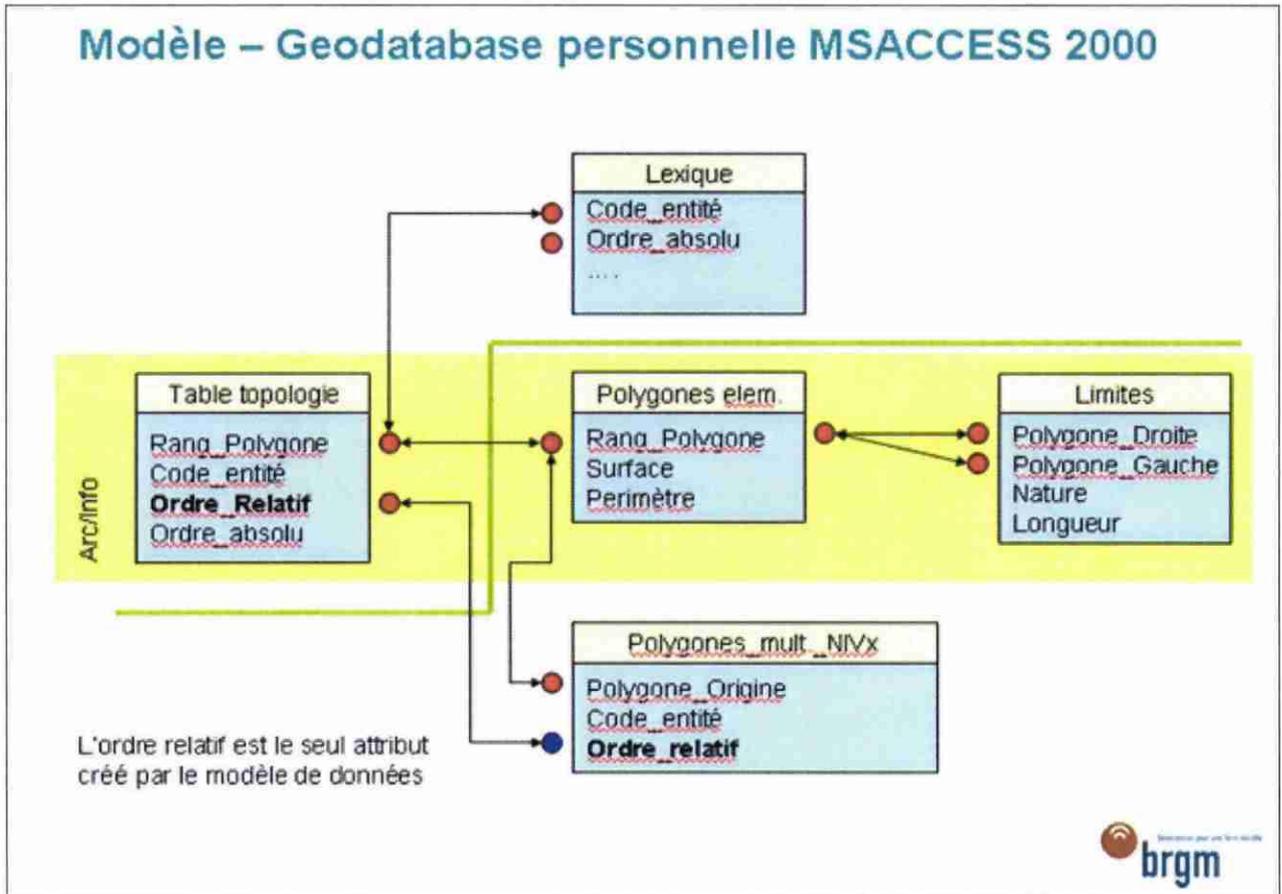


Illustration 11 - Modèle conceptuel simplifié de la géodatabase

2) Polygones Uniques

Il s'agit des couches de niveaux 1 et 2 où les polygones d'intersection sont décrits par les entités intersectantes rangées suivant leur ordre relatif d'apparition (illustration 12). Il est ainsi possible de visualiser facilement l'ensemble des entités rattachées à un même ordre relatif d'apparition.

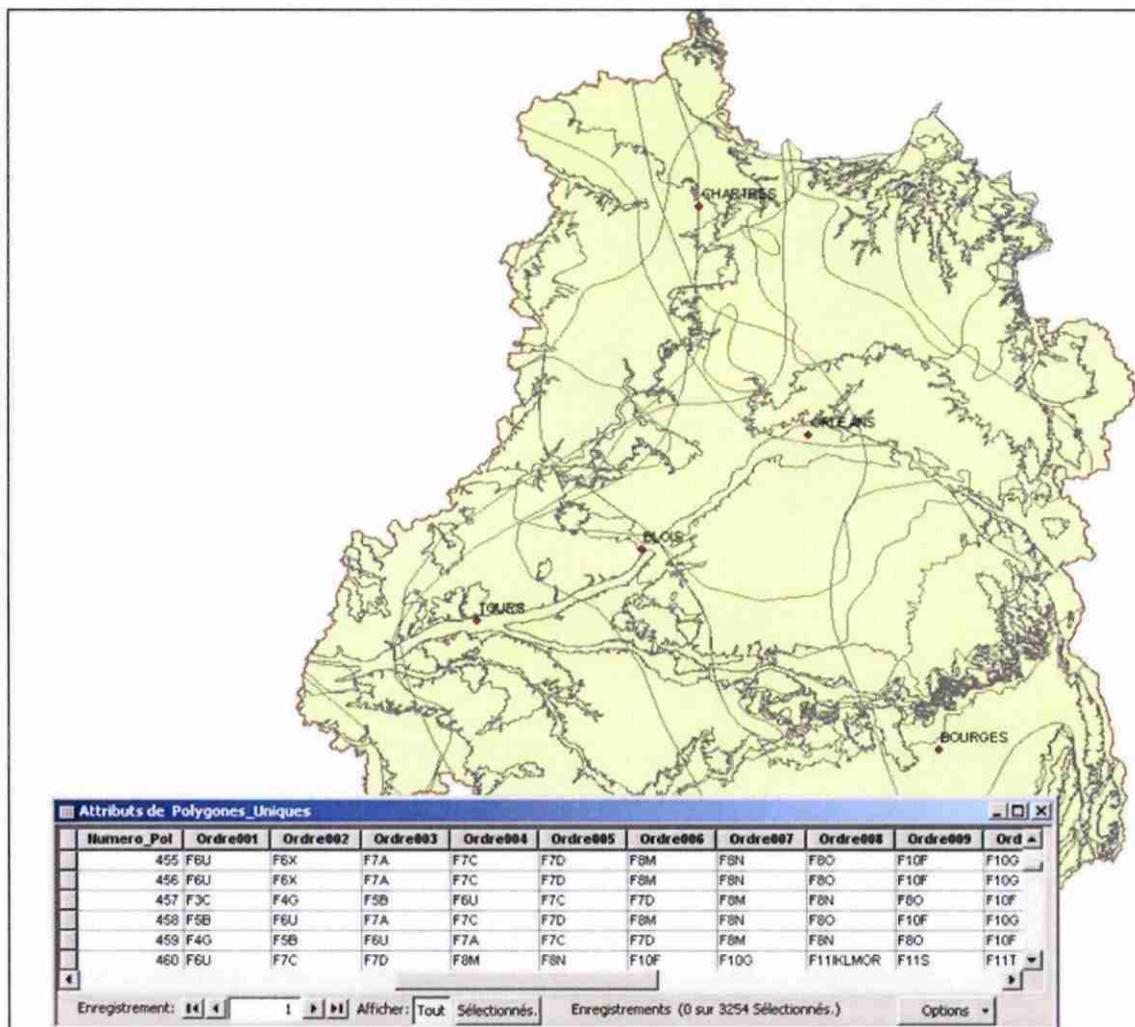


Illustration 12- Couche de polygones et table associée où les entités sont rangées suivant leur ordre relatif d'apparition

3) Emprise des entités

Outre les couches décrites ci-dessus (polygones et polygones de l'ensemble des entités), le modèle de gestion peut produire une couche par entité contenant uniquement l'emprise de l'entité (illustration 13 et § 4.1.3.).

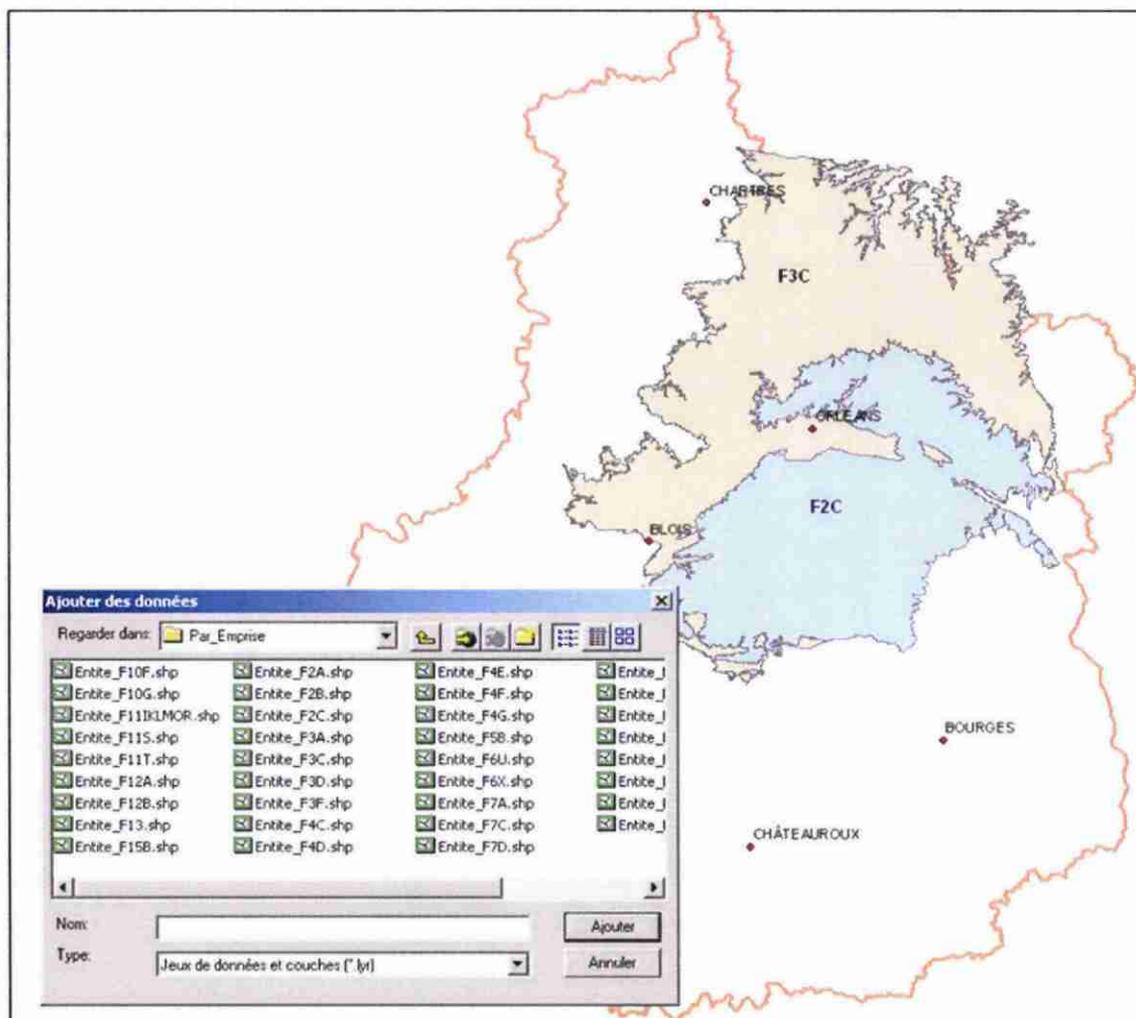


Illustration 13 – Exemple de sélection d'entités

3) Limites Ordre 1

Cette couche contient l'ensemble des limites issues de l'intersection des polygones les uns avec les autres (illustration 14).

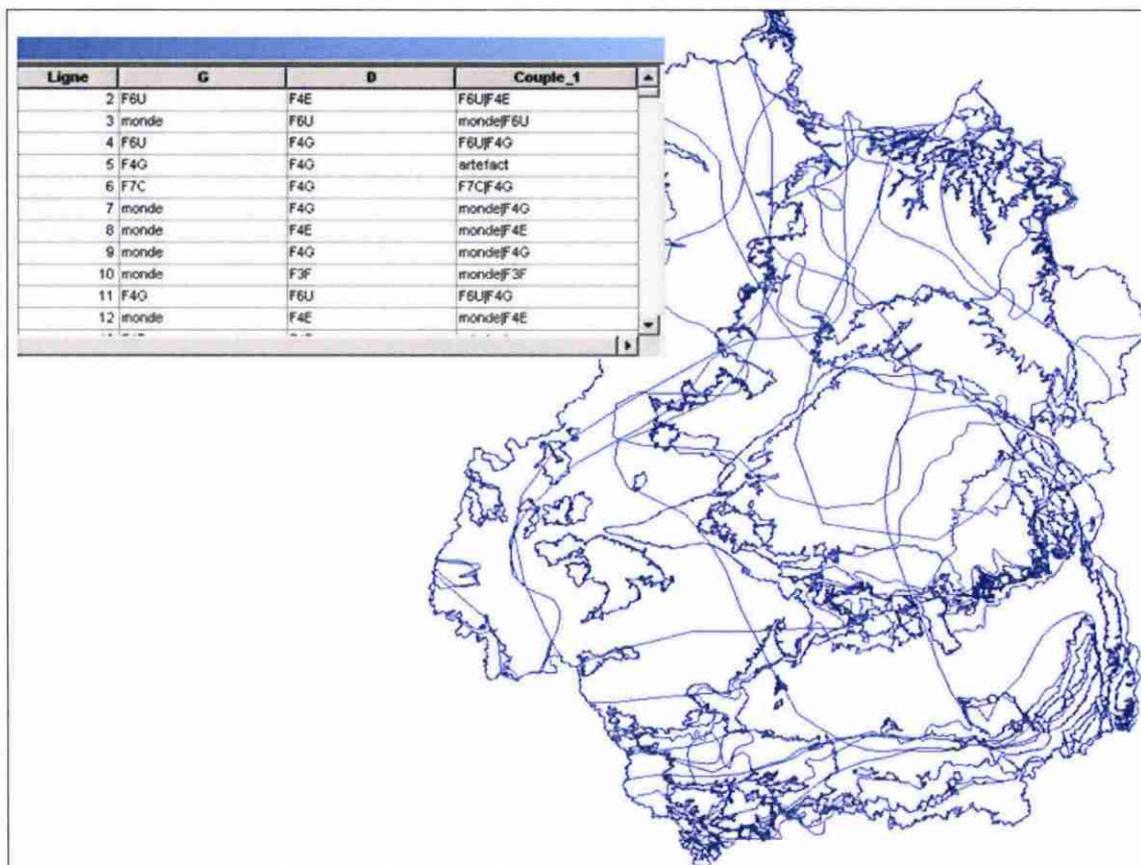
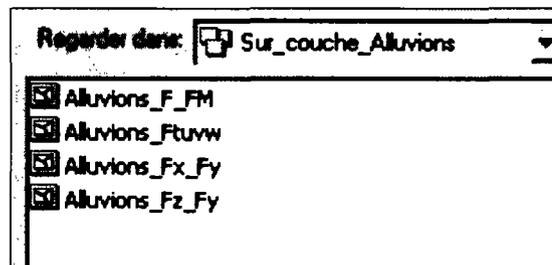


Illustration 14 – La couche des polygones et la table associée.

4.1.2. La surcouche des alluvions

Les alluvions ont été extraites de la carte géologique harmonisée et intégrées dans une couche particulière du SIG (sur-couche, correspondant à un "jeu de classes d'entités" dans le langage ArcGis).



Cette couche est la même pour les 2 niveaux, NV1 et NV2 (précision du 1/50 000).

Une différenciation de ces alluvions a été faite en fonction de la codification de la carte géologique (illustration 14).

- Fx-Fy: alluvions anciennes, moyenne à basse terrasse indifférenciées (Pléistocène);
- Fz-Fy: alluvions indifférenciées, sub-actuelles à modernes, des rivières et colluvions argilo-sableuses des fonds de vallons;
- Ftuw, comprenant:
 - 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.
- F-Fm, comprenant:
 - F: alluvions anciennes indéterminées (Pléistocène)
 - Fm: alluvions fluvio-lacustres de la Marmande (Quaternaire)

Une sectorisation par bassin versant (de la BD-Carthage) est possible comme le montre l'illustration 15.

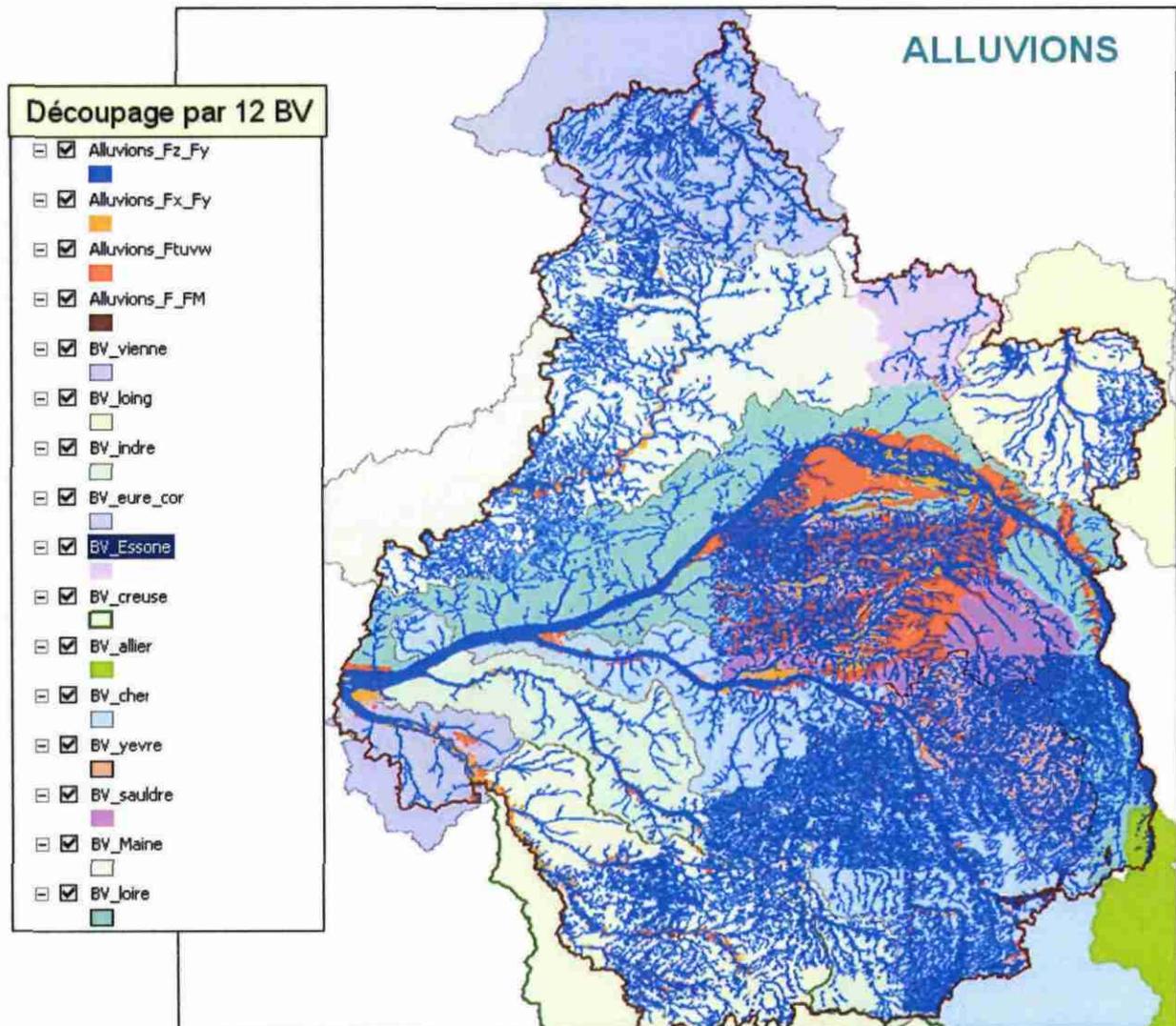


Illustration 15 – Types d'alluvions et sectorisation par grands bassin versants

4.1.3. Outils associés à la base de données

A cette base de données sont associés des outils de géotraitement (sous arcview version 9.2) qui permettent (illustration 16 a et b) :

- L'extraction d'une entité de niveau 1 ou 2 en fonction du code de celle-ci (illustration 16)
- La réalisation d'une coupe synthétique au travers du référentiel BDRHFV2 mettant en évidence la superposition verticales des entités (illustration 17)

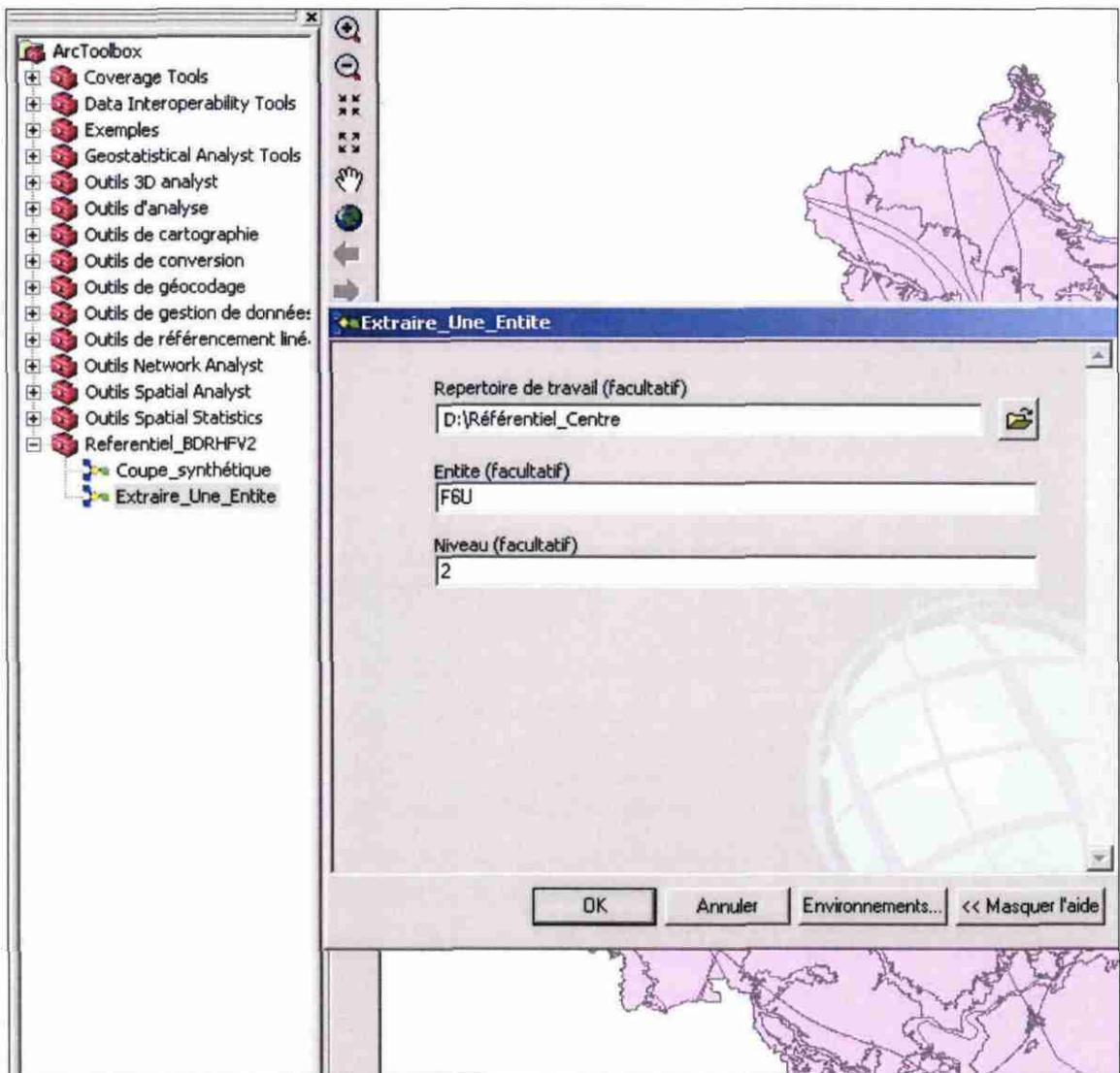


Illustration 16 – Extraction d'une entité de la géodatabase

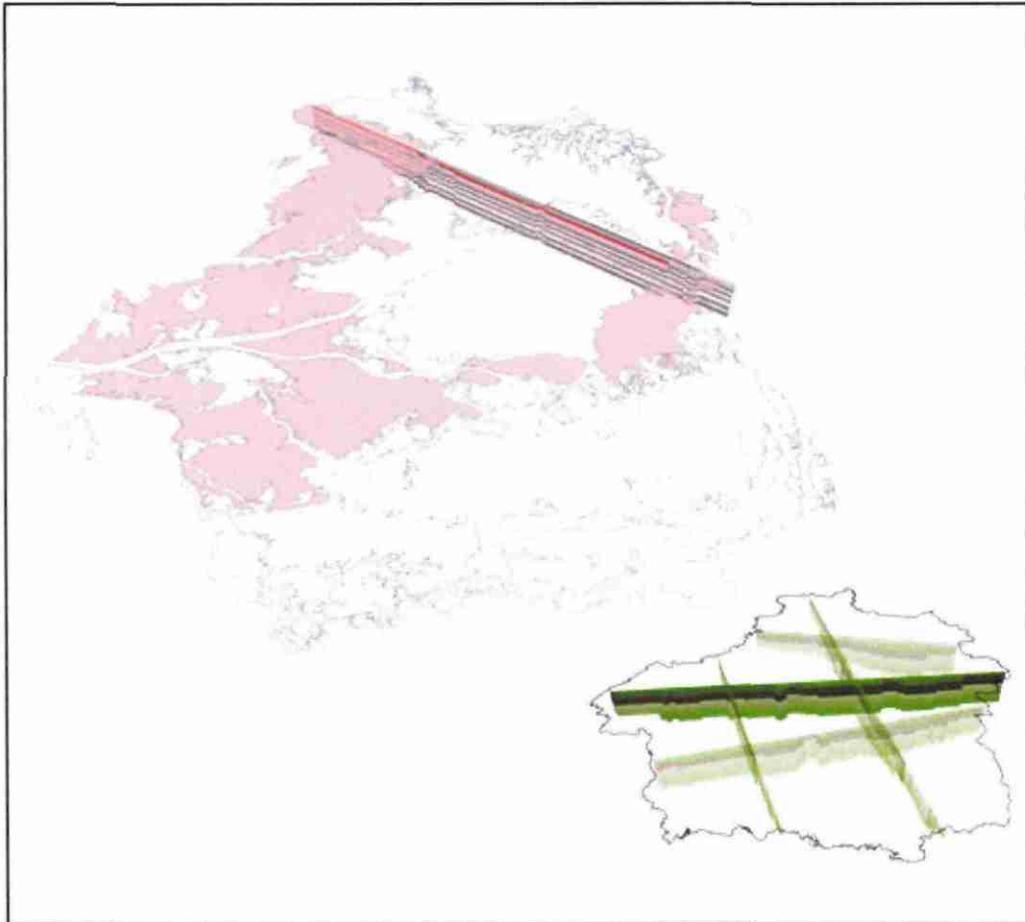


Illustration 17- Visualisation des objets "coupe_xx.shp" générés par le geotraitement "coupes synthétiques" (restitution ArcGis© 3DAnalyst)

4.2. FICHES DESCRIPTIVES DES ENTITÉS

Le modèle de gestion du référentiel (sous ArcGis) permet d'éditer automatiquement une fiche descriptive par entité. Ces fiches sont fournies dans le CD annexé au rapport.

Une fiche est constituée de 2 parties (illustrations 18 et 19). La carte de la partie gauche (avec en "fond" le Modèle Numérique de Terrain) positionne l'entité dans le contexte régional et permet de la repérer verticalement dans la succession des couches qui la recouvrent grâce à une codification par nuances de couleur correspondant aux numéros d'ordre relatif associés à l'entité: par exemple le polygone d'ordre 1 est à l'affleurement, celui d'ordre 2 est recouvert d'une autre entité, etc...

La partie droite de la fiche regroupe différentes informations. Elle précise :

- **l'ordre d'apparition absolu** de l'entité, qui est l'ordre du tableau multi-échelles;
- **la nature** de l'entité, parmi 7 possibilités (illustration 20);
- **le thème d'appartenance de l'entité**, parmi 5 possibilités (illustration 20);
- **le type de milieu caractérisant l'entité**: poreux, fissuré, karstique;
- **l'état hydrodynamique de la nappe** contenue dans le réservoir: libre, captive, libre et captive.

Toits et murs de l'entité

De plus, sur cette partie, sont listées les entités situées au dessus de l'entité considérée (les "toits") ainsi que les entités situées au dessous (les "murs"), avec en vis-à-vis les superficies des zones de recouvrements exprimées en %.

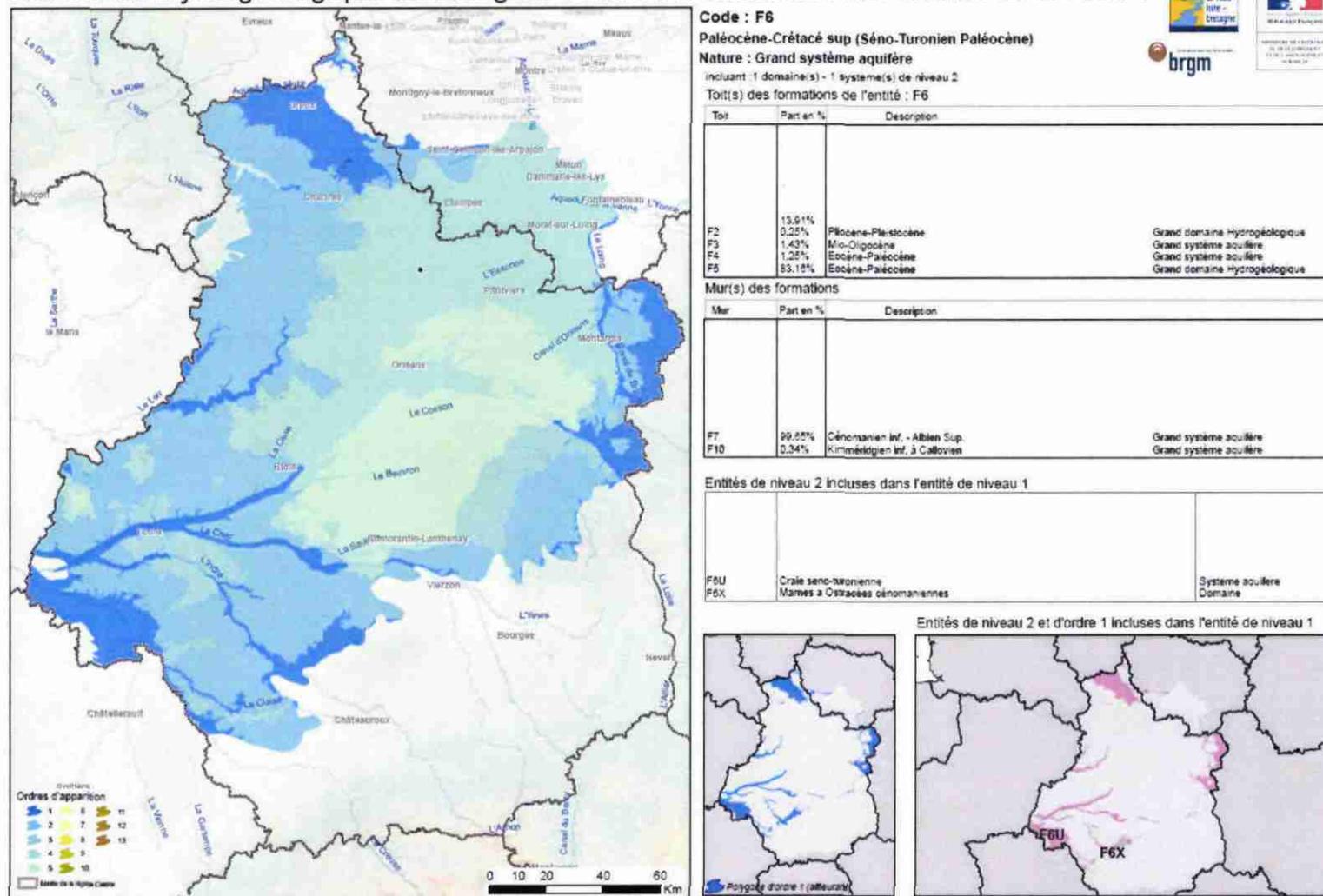
Cette information sur les superficies des zones de recouvrements est particulièrement intéressante dans le processus de vérification de la cohérence du découpage. Elle permet en effet de détecter d'éventuelles anomalies de découpage: une superficie de 0,02 % par exemple n'est peut être qu'un artefact de découpage qui devra être corrigé.

Limites latérales de l'entité

Les limites latérales partagées par l'entité avec ses voisines sont caractérisées par leur nature et la fraction de la longueur totale partagée (en %). En vis-à-vis une carte permet de repérer les entités adjacentes.

...

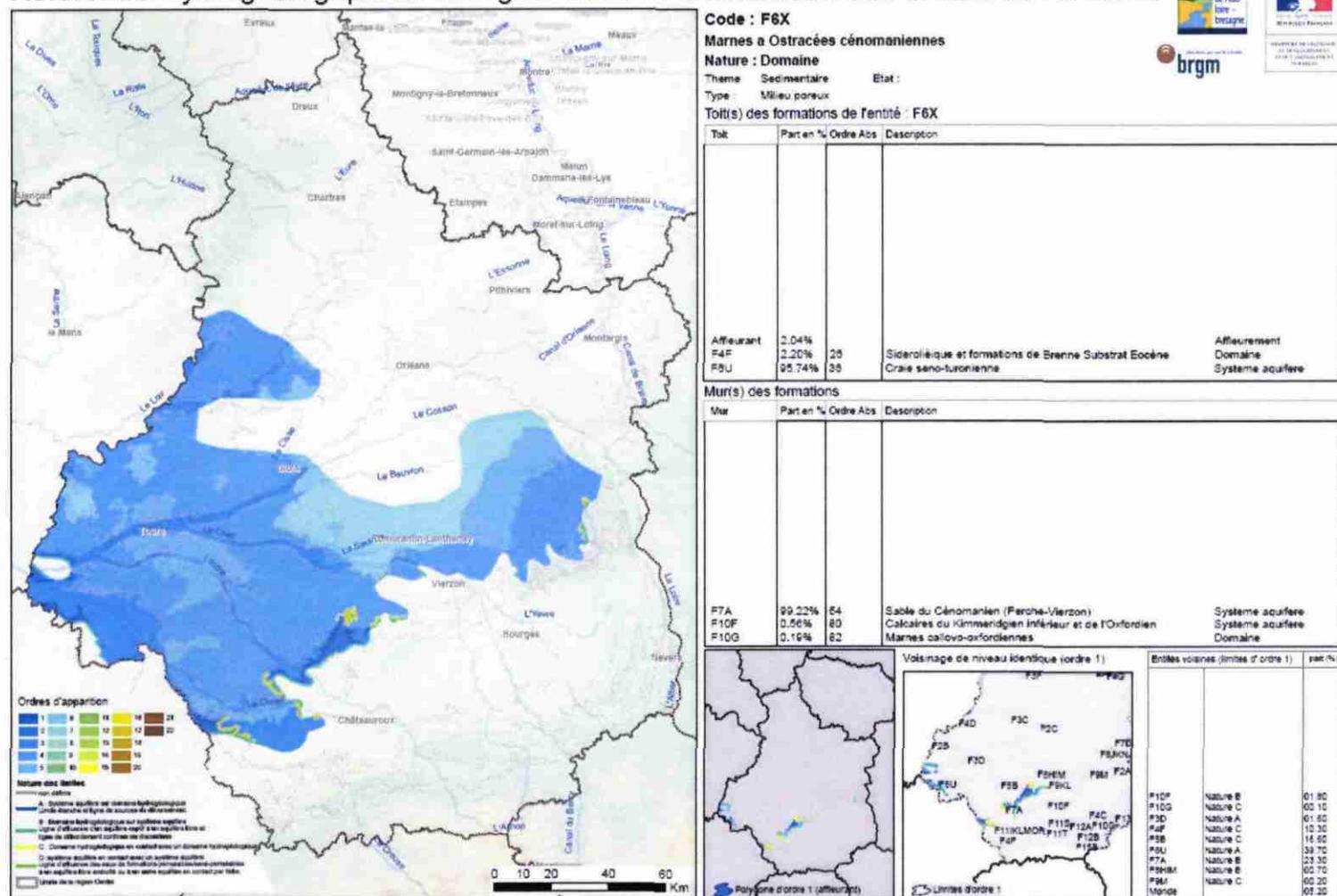
Référentiel hydrogéologique de la région Centre : Délimitation des entités de niveau 1



BRGM - Référentiel Hydrogéologique Français - BDRHF Version 2 - Bassin Loire Bretagne - Année 1 - Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en région Centre - BRGM/PP-56055 Décembre 2007

Illustration 18- Exemple de fiche descriptive d'une entité de niveau 1

Référentiel hydrogéologique de la région Centre : Délimitation des entités de niveau 2



BRGM - Référentiel Hydrogéologique Français - BDRHF Version 2 - Bassin Loire Bretagne - Année 1 - Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en région Centre - BRGM/RP-56055 Décembre 2007

Illustration 19 - Exemple de fiche descriptive d'une entité de niveau 2

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

a) 7 types d'entité (nature)

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

b) 5 thèmes de rattachement des entités à une formation géologique

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

c) 4 possibilités d'état de la nappe associés à une entité aquifère

Code	Libellé
0	Inconnu
1	Milieu poreux
2	Milieu fissuré
3	Milieu karstique

d) Types de porosité possibles

Illustration 20 – Caractérisation des entités hydrogéologiques
 (Selon le guide méthodologique national)

5. Bref descriptif des entités hydrogéologiques

5.1. ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES DU TERTIAIRE

5.1.1. Les sables et argiles du Bourbonnais

Il s'agit d'un domaine hydrogéologique (codé F2A).

Cette entité correspond à une formation "perchée" à l'est du département du Cher. Les sables sont inclus dans une matrice assez argileuse et sont, de ce fait, très peu productifs. Il n'y a pratiquement aucun forage. Seuls les anciens puits domestiques exploitaient cette ressource.

5.1.2. Les calcaires et les faluns de Touraine et d'Anjou

Ces formations correspondent aux entités codées:

- F2B : faluns de Touraine et d'Anjou, entité classée comme domaine,
- F3D : calcaires de Touraine, système aquifère,
- F4D : calcaires d'Anjou, système aquifère.

Ces trois entités du Tertiaire de l'Indre-et-Loire se répartissent en plusieurs unités correspondant morphologiquement à des plateaux séparés par les cours d'eau du département. Ces formations ont une épaisseur maximale de 20 à 30 m, mais la tranche mouillée ne dépasse pas, en général, 10 à 15 m d'épaisseur. Le substratum est formé par les argiles du Sparnacien ou l'Argile à Silex qui recouvre la craie. De nombreuses sources naissent à ce contact.

Les calcaires, lorsqu'ils sont fissurés, sont le siège de circulation localement importante à traits karstiques qui constituent des axes de drainage préférentiel donnant naissance à des résurgences en bordure de vallées (BRGM RP-52501-FR).

Les réservoirs de Touraine ne sont alimentés que par les pluies efficaces. Le volume de la ressource est faible et les fluctuations piézométriques saisonnières sont fortes.

La productivité des systèmes aquifères est en général faible : 1 à 10 m³/h. Cependant, lorsque les calcaires sont traversés par des failles, les débits des forages sont parfois très élevés, comme à Bléré (110 m³/h). De même, on connaît plusieurs sources dont les débits atteignent 100 à 300 m³/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.

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.

5.1.3. Les formations de Sologne

Il s'agit d'un domaine (codé F2C). Ces formations regroupent en un seul système aquifère 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 toute la surface de la forêt d'Orléans. Sur les anciennes cartes, cet ensemble était classé dans l'étage géologique du Burdigalien.

Dans les sables et argiles du Mio-Pliocène, le réservoir correspond à des chenaux sableux divaguant dans une matrice argileuse. En Sologne, on a coutume de parler 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.

L'eau est souvent acide, ferrugineuse et, de ce fait, est 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 traversé par plusieurs forages agricoles et participe même à l'alimentation en eau potable (Clémont).

5.1.4. Les calcaires de Beauce (Eocène à Miocène)

Il s'agit d'un système aquifère (codé F3C).

L'aquifère de Beauce est le principal réservoir d'eau souterraine de la région Centre et l'un des plus importants de France. 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 ; mais ils se poursuivent sous la Forêt d'Orléans ainsi que sous les formations de Sologne, au sud de la Loire.

Les calcaires lacustres de Beauce comprennent, dans le Loiret, deux assises calcaires principales : le Calcaire de Pithiviers du Miocène et le Calcaire d'Etampes de l'Oligocène supérieur, séparés par un banc marneux (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. A ce titre, ils constituent un aquifère continu très transmissif.

La nappe de Beauce est alimentée uniquement par les pluies qui tombent sur le plateau. La nappe est libre sous tout le plateau, sauf localement sous la Forêt d'Orléans. Elle se partage 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 fluctuations saisonnières et interannuelles sont importantes, accentuées par une exploitation intensive de la nappe.

La productivité de la nappe de Beauce est liée à l'épaisseur mouillée du réservoir: faible en bordure des affleurements, elle augmente considérablement vers le sud où les forages peuvent donner jusqu'à plus de $500 \text{ m}^3/\text{h}$ avec des rabattements de l'ordre du mètre. Les transmissivités calculées varient de 5.10^{-2} à $3.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

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 affleurant du calcaire

qui absorbe rapidement toutes les eaux de surface, car le ruissellement est quasi-inexistant.

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'alimentation humaine dans les deux circonstances indiquées 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

Il s'agit d'un système aquifère (codé F3A).

Les sables marins du Stampien créent 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.

En Eure et Loir, cet aquifère est peu épais. Ces caractéristiques hydrodynamiques sont inconnues mais doivent être faibles. Par contre, l'aquifère se développe considérablement dans les Yvelines.

L'eau est peu minéralisée (conductivité inférieure à 300 μ S) 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 et est donc trop coûteux. La nappe est exploitée dans les Yvelines pour l'alimentation en eau potable.

En continuité avec les Sables de Fontainebleau du nord-est d'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 à l'échelle économique. Ces formations se développent au nord et à l'est dans les départements des Yvelines et de l'Eure, où l'eau y est exploitée aussi bien pour l'eau potable que pour l'agriculture.

5.1.6. Marnes vertes et supragypseuses Eocène

Il s'agit d'un domaine (codé F3F).

Ces formations couronnent l'Eocène supérieur et dominent les fonds de vallées mais elles sont toujours masquées par une mince couche d'éboulis. Elles sont constituées au sommet des Marnes blanches de Pantin d'environ 4 mètres de puissance et des Marnes bleues d'Argenteuil atteignant 8 à 9 mètres

5.1.7. Les calcaires du Berry

Il s'agit d'un système aquifère (codé F4C).

Les calcaires du Berry d'âge Tertiaire sont répartis en plusieurs "incrustations" dans les paléoreliefs 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 n'est pas envahi d'argile.

On distingue deux unités principales :

- L'unité de Lury-sur-Arnon/Sainte-Thorette : profondément enchâssée 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 le potentiel hydraulique 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. Relativement peu épaisse, la ressource y est limitée. Les piézomètres de contrôle montrent une vidange accentuée de ce réservoir en période estivale.

Mis à part quelques forages au cœur de cette unité, la productivité est modeste et très variable dans l'année.

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

5.1.8. Calcaires de Saint Ouen et sables de Monceau

Il s'agit d'un système aquifère (codé F4E).

Les sables de Monceau surmontent le marnocalcaire de Saint-Ouen, dalle de 10 m d'épaisseur. Le marno-calcaire de Saint-Ouen (Bartonien moyen) renferme une fraction gypseuse dont la puissance totale est très variable et non uniforme.

5.1.9. Sidérolithique et formations de Brenne

Il s'agit d'un domaine (codé F4F).

La formation de Brenne comprend des bancs sableux constituant de petits réservoirs aquifères. Mais la dominante de cette formation est essentiellement argileuse, la ressource, étant de ce fait très réduite. Les ouvrages de captage sont les puits traditionnels, creusés jadis pour des besoins domestiques, mais abandonnés maintenant pour la plupart, et quelques forages agricoles se contentant d'un 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).

5.1.10. Marnes et calcaires de l'Eocène moyen et inférieur

Il s'agit d'un domaine (codé F4G).

Les dépôts lacustres calcaires éocènes s'étendent très largement dans toutes les directions du bassin de Beauce, probablement au-delà des limites d'érosion actuelles. Un sous-bassin en forme de sillon, contrôlé par les failles de Sennely et de Beaune-la-Rolande, se développe depuis la Loire jusqu'à la Seine. Le bassin s'ouvre largement, vers l'Île-de-France, dont il est manifestement une extension. Les faciès du sillon au Nord montrent des influences marines, alors que le reste du bassin contient des calcaires lacustres. Les épaisseurs voisinent 90 m. Le corps principal des calcaires éocènes est appuyé, en décalage vers le sud-est, sur le corps principal de l'Eocène détritique, soulignant le déplacement du dépôt centre du bassin.

5.1.11. Argile à silex

Il s'agit d'un domaine (codé F5B)

L'Argile à silex, produit de décalcification de la craie, forme une couverture sur toute l'étendue de la craie lorsqu'elle affleure. Elle est en principe imperméable, mais elle a la particularité, au nord du département du Cher, en bordure de la Sologne, de constituer un réservoir aquifère très local. 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, les silex se comportent comme un milieu karstique. La productivité peut y être très élevée mais sur une surface restreinte.

5.2. FORMATIONS DU SECONDAIRE: LE CRÉTACÉ

5.2.1. La craie Séno-Turonienne

Il s'agit d'un système aquifère (codé F6U).

La série du Sénonien et du Turonien est formée 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 renfermer de l'eau. 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, condition rencontrée le long des failles ou sur les bombements anticlinaux, ou bien altérée, sous les plaines alluviales des grands cours d'eau..

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

La craie est recouverte par une couche d'argile (l'Argile à silex), produit de décalcification de la craie, qui forme localement une pellicule protectrice imperméable, mais peu efficace à grande échelle.

La nappe est libre sous toute la surface des affleurements. L'alimentation s'effectue par les pluies efficaces que n'arrête pas la couverture d'argile lacunaire le long de talwegs et percée en de multiples lieux (bétoires). Les vallées drainent cette nappe et l'on trouve sur ses flancs de nombreuses sources. La surface piézométrique présente un gradient généralement fort, ce qui traduit une perméabilité médiocre.

Sous les formations de Beauce, la nappe est captive. Le niveau statique de la nappe se situe souvent très au-dessous de celui de la nappe de Beauce : les deux nappes sont en déséquilibre et, lorsqu'un forage traverse les deux formations, l'eau s'écoule naturellement du Calcaire de Beauce vers la Craie. Ce phénomène a une très grande importance pour la contamination progressive de ce dernier réservoir.

La productivité des ouvrages souterrains est extrêmement variable, selon le développement des fractures ou de l'altération : la craie est un réservoir discontinu. En nappe libre, les débits peuvent parfois dépasser 150 m³/h, comme dans la vallée du Cher. Sur les plateaux, les débits sont modestes (autour de 20 m³/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 réservoir.

Au plan de la qualité de l'eau, sur tout le domaine 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 le Calcaire de Beauce ou sous la Sologne, l'eau est peu ou pas touchée 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.

Sous les bords 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 du Calcaire de Beauce.

5.2.2. Les marnes à Ostracées cénomaniennes

Il s'agit d'un domaine hydrogéologique (codé F6X).

Ce niveau ne constitue pas, de par sa nature marneuse, une ressource aquifère. Ces marnes séparent les sables du Cénomaniens la craie marneuse du turonien.

5.2.3. Les sables du Cénomaniens

Il s'agit d'un système aquifère (codé F7A)

La nappe du Cénomaniens s'étend sur une superficie d'environ 29 000 km² 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 dans la Touraine. Cette fragilisation de la nappe se traduit par une baisse de productivité des ouvrages, le risque de dénoiement de la nappe dans certaines zones d'exploitation ainsi que la contamination directe par le système aquifères contigus et notamment par les chlorures en provenance du Jurassique.

C'est pour ces raisons qu'un comité de gestion de la nappe a été mis en place et qu'un programme de modélisation a été initié (étude SOGREAH: "*Programme d'études et de modélisation pour la gestion de la nappe du Cénomaniens*". Rapport de fin de phase 1 - SOGREAH -2004).

Les Sables du Cénomaniens 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 "Sable du Perche" à l'ouest et "Sable de Vierzon" au sud. L'épaisseur de ces sables est de plus de 30 m aux affleurements à l'ouest et 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 Cénomaniens réalisé par la SOGRAH (Rapport SOGRAH -2007 - *Programme d'étude et de modélisation pour la gestion de la nappe du Cénomaniens*. Rapport définitif de fin de phase 3 n°2730117 R4V4).

Les sables du Cénomaniens incluent la partie majoritairement sableuse sous le Cénomaniens supérieur marneux (Marnes à Ostracées), mais également les horizons inférieurs plus marneux ou gréseux comme les marnes de Bouffy, qui sont inclus dans le réservoir aquifère. Le toit de cet horizon est constitué notamment par les sables du Perche et les sables de Vierzon, le mur correspond à la base des sables du Maine ou aux horizons sableux du Cénomaniens inférieur (Sables et grès de la Trugalle ou de Lamnay). Souvent la notation Sables du Cénomaniens désigne l'ensemble du Cénomaniens moyen à inférieur.

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 en 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 cet aquifère est très importante dans la Sarthe et le Maine-et-Loire où les sables affleurent sur une grande épaisseur (plus de 100 m³/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 m³/h peuvent être obtenus sous Tours, mais ils ne sont plus que de 10 à 20 m³/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 en cours de procédure par son classement en "zone de répartition", après avoir été soumise à une réglementation très restrictive en Indre-et-Loire (décret-loi de 1935).

5.2.4. La Craie du Cénomanién

La craie du Cénomanién en région Centre est une craie marneuse qui succède au faciès sableux décrit ci-dessus. Le faciès crayeux se développe vers le nord et l'est du Bassin parisien.

En région Centre, la Craie du Cénomanién a été classée en domaine (codé F7C) et dans le référentiel apparaît au même niveau stratigraphique que les Sables (entités adjacentes de même ordre absolu).

5.2.5. Les argiles du Gault, marnes et gaizes du Cénomanién inférieur

Il s'agit d'un domaine (codé F7D).

Les argiles du Gault constituent le substratum imperméable des formations du Crétacé inférieur et séparent ces formations (Sables du Cénomanién ou formation de la Craie du Séno-Turonien) des niveaux sableux de l'Albien.

5.2.6. Les sables de l'Albien

Il s'agit d'un système aquifère (codé F8HIM).

Cette formation sableuse n'est présente qu'à grande profondeur dans le tiers nord-est de la région et n'est atteinte que par de très rares forages dans le Loiret principalement. Elle affleure en un fin liseré dans le Cher où elle est connue sous le terme de "Sables de la Puisaye". En bordure du Pays-Fort, elle donne naissance à de nombreuses sources au contact des terrains sous-jacents imperméables.

La productivité est de quelques dizaines de m³/h, les débits pouvant atteindre 100 m³/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 distribution publique (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

Il s'agit d'un domaine hydrogéologique (codé F8JKN)

Les faciès des niveaux de l'Aptien peuvent être sableux ou argileux. Ces formations constituent une nappe importante dans le nord-est du bassin de Paris (Sables blancs). Le Barrémien est principalement argileux.

5.2.8. Sables du Néocomien

Il s'agit d'un système aquifère (codé F8O).

Le Néocomien regroupe les formations du Valanginien, de l'Hauterivien et du Barrémien. Il constitue un des objectifs de recherche pétrolière dans la région Centre.

5.3. FORMATIONS DU SECONDAIRE: LE JURASSIQUE

Les différents niveaux calcaires du Jurassique sont précisés dans le tableau ci-dessous.

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 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					
Jurassique inférieur	Lias	Aalénien				
		Toarcien				
		Pliensbachien	Domérien			
			Carixien			
		Sinnémurien				
Hettangien						

Illustration 21 – Répartition des niveaux calcaires dans le Jurassique.
 Rapport BRGM/RP-51887-FR (2002)

5.3.1. Les calcaires Tithoniens (Portlandien - Purbeckien)

Il s'agit d'un système aquifère (F9KL).

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

Les calcaires de l'Oxfordien, qui 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 sont poreux (Calcaire de Morthomiers près de Bourges, calcaires récifaux près de le Blanc). La partie inférieure de ces calcaires (calcaires lités inférieurs) ne constitue plus un réservoir.

Ces 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 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 qui s'offre à tous les secteurs (eau potable, agriculture, industrie). En raison de sa pollution presque généralisée, le seul recours pour l'alimentation humaine 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.

5.3.2. Marnes du Kimméridgien

Il s'agit d'un domaine (codé F9M).

Ces marnes constituent la couverture de l'assise des calcaires du Kimméridgien. Elles ne constituent pas une ressource en eau.

5.3.3. Calcaires du Kimméridgien inférieur et de l'Oxfordien

Il s'agit d'un Système aquifère (codé F10F).

L'Oxfordien supérieur représente une forte assise calcaire qui affleure sur près de la moitié des départements de l'Indre et du Cher. Ce réservoir aquifère est souvent désigné sous le terme d'Oxfordien supérieur (rapport BRGM/RP-51887-FR). 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. Marnes Callovo-Oxfordiennes

Il s'agit d'un domaine hydrogéologique (codé F10G).

Ce niveau constitue le mur de l'aquifère calcaire de l'Oxfordien supérieur et du Kimméridgien. Elles ne constituent pas une ressource en eau.

5.3.5. Calcaires du Dogger (Bathonien à Bajocien)

Les différents faciès du Dogger sont précisés par l'illustration 22 ci-après.

Les Calcaires du Dogger constituent un système aquifère (F11KLMOR et F11T).

En se rapprochant du Massif Central, les couches géologiques se redressent : la carte 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 du cours d'eau du Cher, la barre supérieure calcaire renferme des bancs oolithiques et récifaux, formant ainsi un réservoir plus régulier. Le calcaire peut être

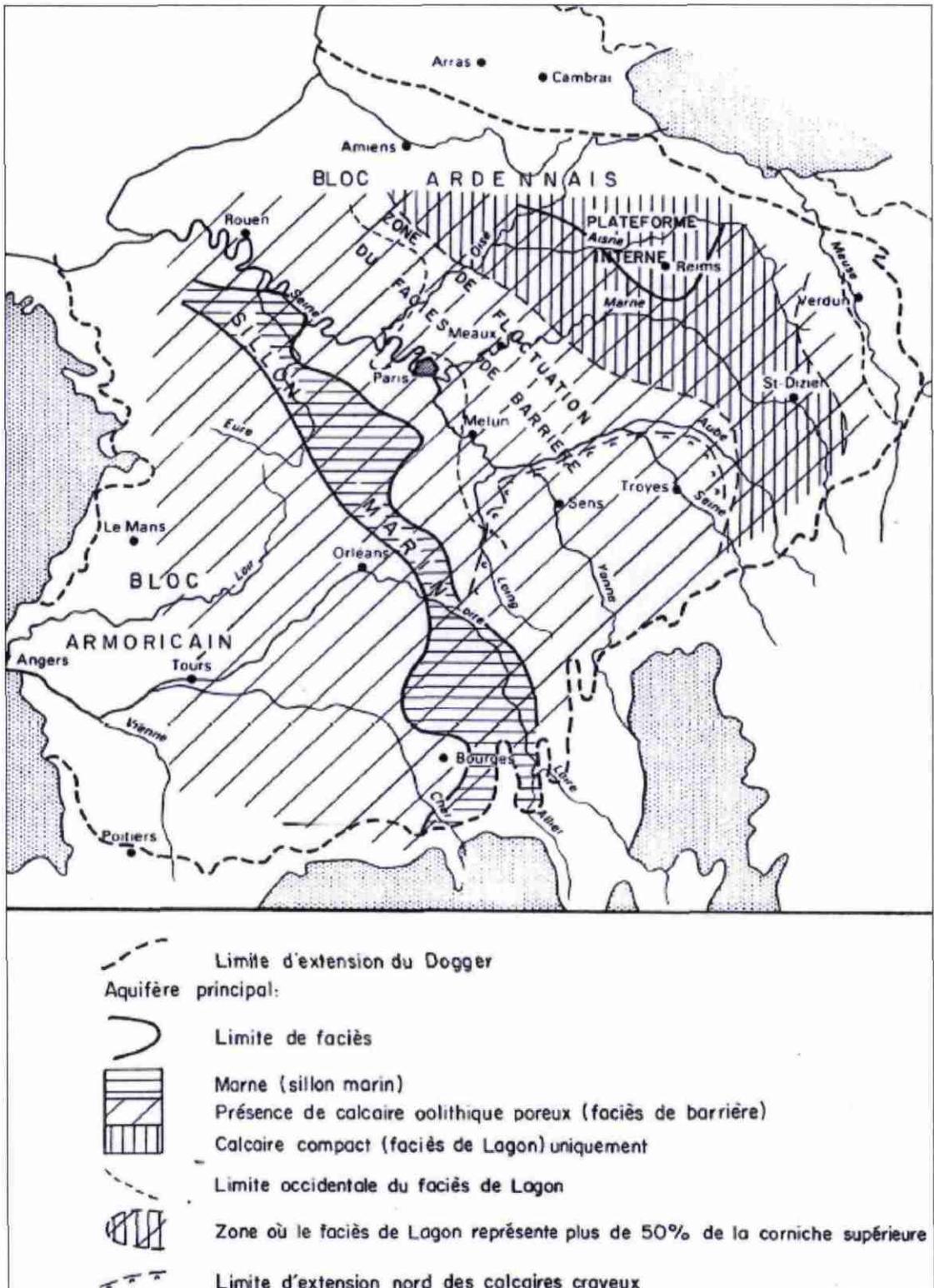


Illustration 22 - Répartition des faciès du Dogger dans le Bassin Parisien
 (Rapport BRGM/RP-51887-FR - 2002)

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 allant de 0 à plus de 100 m³/h ; la recherche d'une ressource doit passer alors par celle d'axes fracturés, à l'aide de méthodes géophysiques. Les débits peuvent être très élevés lorsque le calcaire est en plus poreux, comme à Lureuil (400 m³/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, ...).

5.3.6. Marnes du Dogger

Il s'agit d'un domaine (F11S)

Ce sont les marnes du Bajocien qui constituent l'assise des calcaires sus-jacents du Bathonien-Bajocien. Ces marnes ne constituent pas une ressource en eau.

5.3.7. Marnes du Lias

Il s'agit d'un domaine hydrogéologique (F12A et F12B)

Le Jurassique comprend, vers sa base, une autre barre calcaire qui s'est révélée aquifère seulement près du Châtelet, au sud-ouest de Saint-Amand-Montrond dans le Cher. Ailleurs, il n'est atteint que par des puits anciens aux affleurements. Bien que très mal connue, cette formation d'épaisseur très réduite et compacte ne peut que constituer un très médiocre réservoir.

5.4. FORMATIONS DU SECONDAIRE: LE TRIAS

5.4.1. Argiles et grès du Keuper (Trias)

Il s'agit d'un domaine hydrogéologique (codé F13).

5.4.2. Sables et grès du trias moyen

Il s'agit d'un système aquifère (codé F15B)

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.

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 (7 m en 30 ans à Cluis (36)).

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 m³/h -avec un débit spécifique de 2 m³/h/m- et le forage de Châteauroux a fourni 160 m³/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'eau potable dans le département de l'Indre (région de Maillet). La nappe n'est pas sollicitée pour l'agriculture, en raison de la 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.

...

Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF - Version 2 – Bassin Loire-Bretagne- Année 1.
 Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1 et 2 en Région Centre

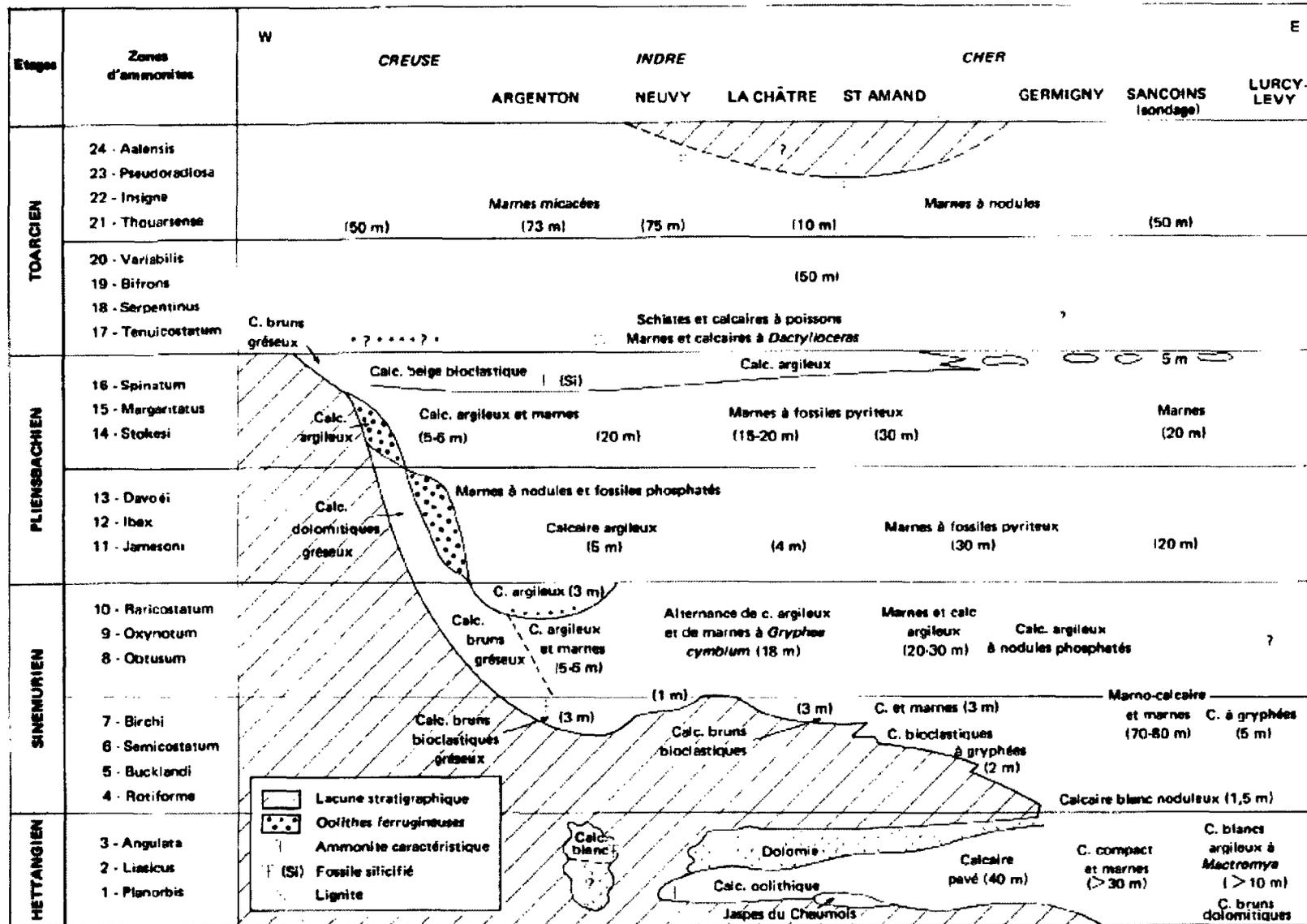


Illustration 23 -Lithofaciès du Lias dans l'Indre et le Cher
 (Rapport BRGM/RP-51887-FR – 2002)

6. Conclusion

Cette année 1 de la construction du référentiel hydrogéologique dans le bassin Loire-Bretagne a été consacrée à la délimitation des entités sédimentaires de la région Centre. Elle a permis de délimiter et d'intégrer dans un SIG (ArcGis version 9.2):

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

A ces entités ont été ajoutées les formations alluvionnaires.

En Année 3 du projet (2008), en région Centre, il est prévu de réaliser un découpage au niveau 3. Ce travail permettra en particulier de différencier les alluvions suivant leur capacité aquifère et d'affiner la nature des limites des entités en introduisant des limites de type hydraulique, non représentées dans ce découpage aux niveaux 1 et 2.

...

Références bibliographiques

Rapports de fin de phase 1

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

Janjou D., Pinson S., Rampnoux N., Legendre D., Chêne F., Petit V. – 2004 BDRHF_V2 - Organisation de la chaîne de production cartographique.

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.

Rapports consultés pour la délimitation

BRGM – 1997 - Synthèse hydrogéologique du Crétacé inférieur du bassin de Paris. Rapport BRGM R39702 - 1997

BRGM – 1999 - Etudes préalables à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce - Rapport BRGM R40571- 1999

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 - 2002

SOGRAH – 2007 - Programme d'études et de modélisation pour la gestion de la nappe du Cénomaniens. Rapport définitif de fin de phase 3 – Rapport n° 2730117 R4V4.

Annexe 1

Le modèle de gestion du référentiel

1. Propriétés du modèle

Ce modèle de gestion, mis au point sous ArcGis, est indispensable non seulement dans la phase d'élaboration du référentiel (en tant qu'outil de travail aux fonctionnalités puissantes), mais aussi par les possibilités d'exploitation qu'il offre (réalisations de coupes verticales, visualisation 3D, ...). Il permet:

1) de passer automatiquement d'un ordonnancement absolu des entités (celui du tableau multi-échelles) à un ordonnancement relatif, qui est celui de la représentation des entités dans le SIG (figure A2-1);

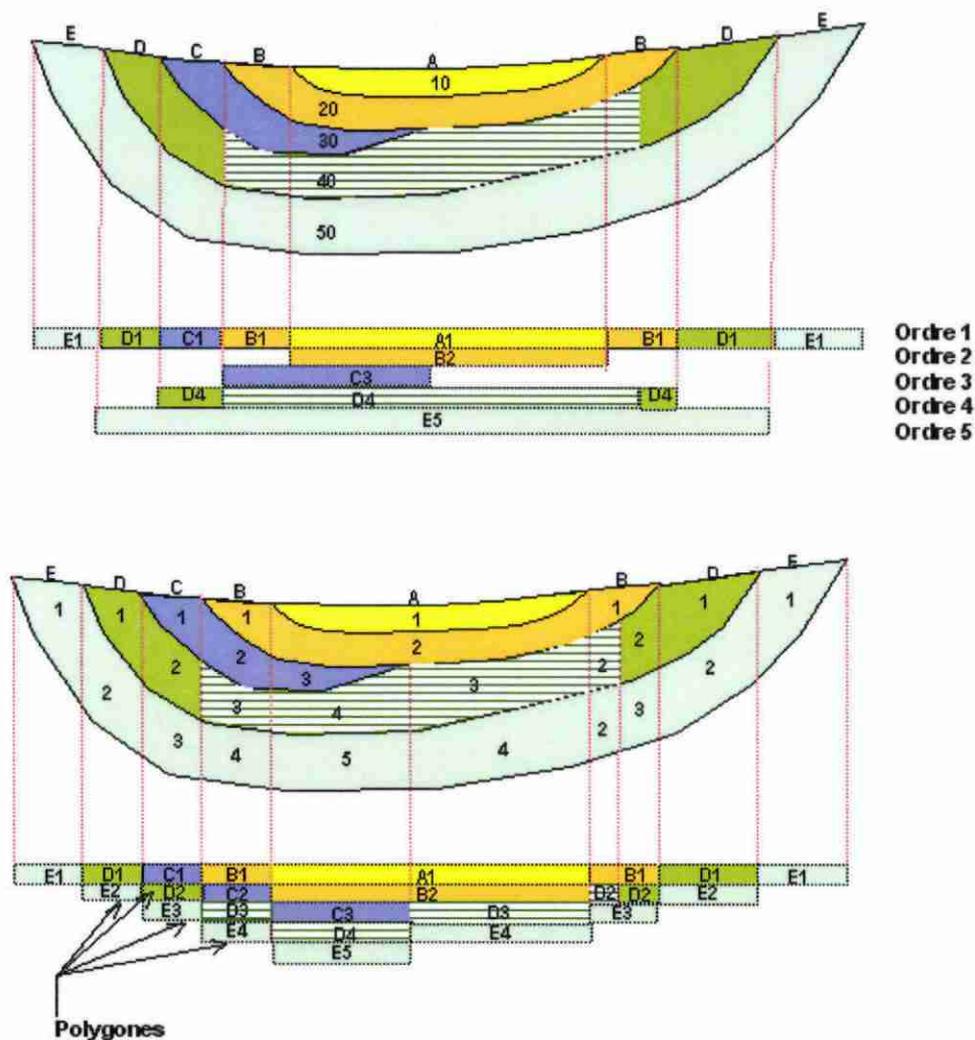


Figure A2-1 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités

- 2) d'assurer une totale cohérence topologique de l'ensemble des entités aux 3 niveaux NV1, NV2 et NV3 (utilisation des fonctions topologiques d'ArcGis);
- 3) de détecter les anomalies de découpage des entités;
- 4) d'automatiser les mises à jour à partir du niveau 3 (figure A2-2) : les modifications sont faites sur les entités de plus bas niveau (NV3) et répercutées automatiquement sur les entités des niveaux supérieurs (NV1 et NV2);

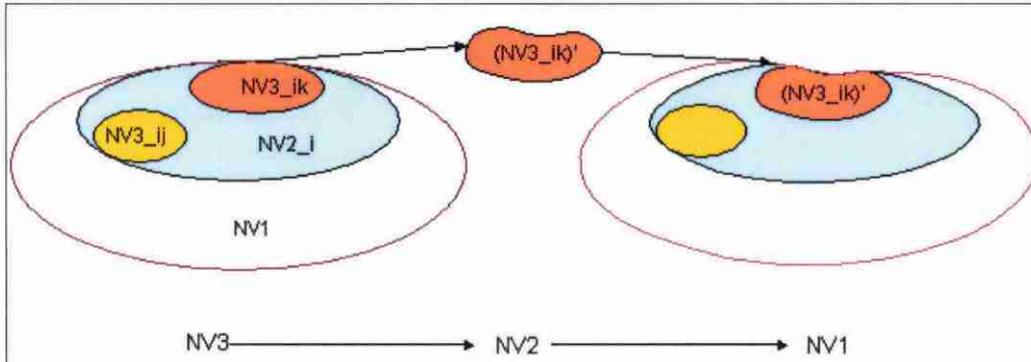


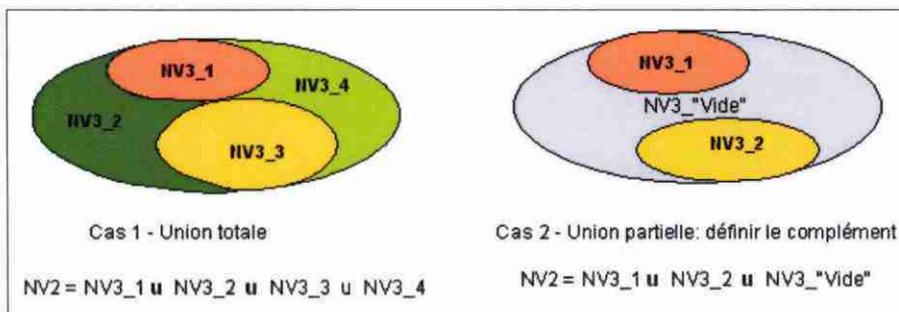
Figure A2-2 – Mise à jour des niveaux 1 et 2 à partir du niveau 3

- 5) d'éditer automatiquement des fiches descriptives par entité. Ces fiches précisent notamment les ordres d'apparition de l'entité (affleurante, sous couverture d'ordre 1, sous couverture d'ordre 2, ...), la liste des entités sus-jacentes et sous-jacentes avec mention des superficies concernées;
- 6) de réaliser des coupes verticales suivant des directions quelconques.

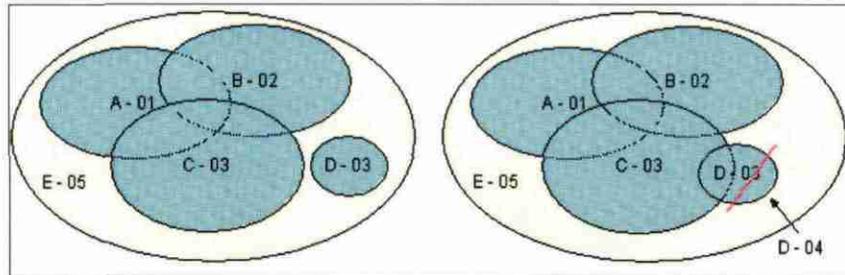
2. Règles à respecter

L'application de ce modèle nécessite de respecter quelques règles:

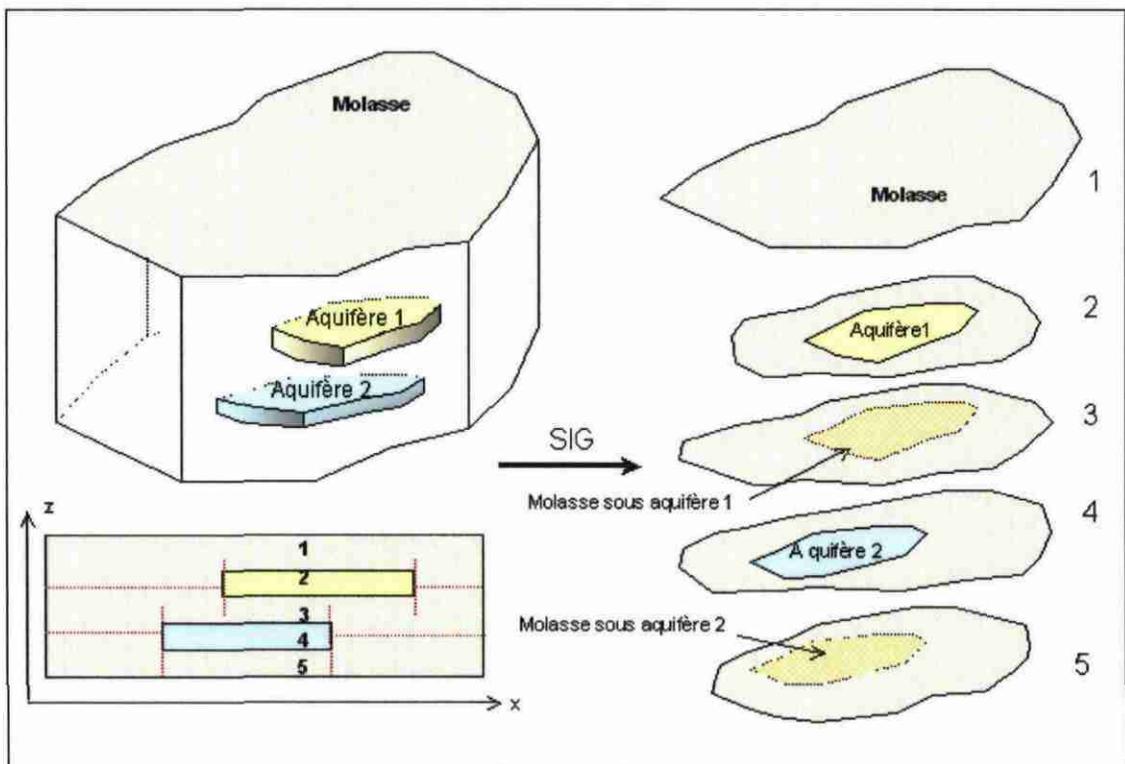
- 1) Une entité de niveau 2 doit être, en totalité, constituée par la réunion d'entités de niveau 3 :



2) Deux entités de codes différents mais d'ordres absolus identiques ne peuvent pas se superposer.



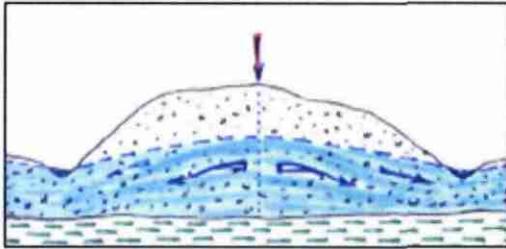
3) Le couple "code d'entité – numéro d'ordre absolu" est unique et impose donc de créer autant de polygones qu'il existe de superpositions verticales, d'où la solution de découpage ci-dessous pour le cas d'entités aquifères superposées incluses dans un domaine (cas de la molasse en Aquitaine).



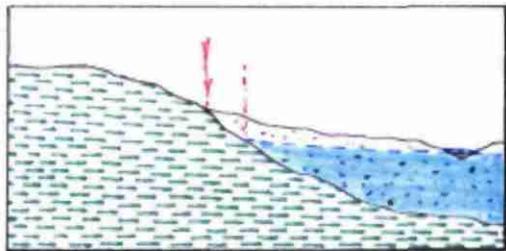
Annexe 2

Typologie des limites établie dans le guide méthodologique

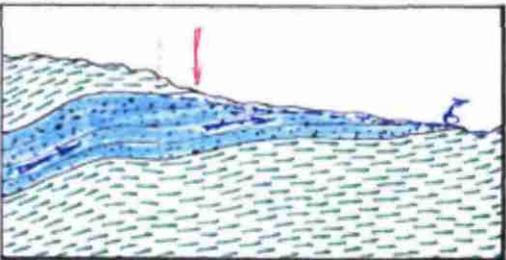
(Rapport BRGM RP-52261-FR)



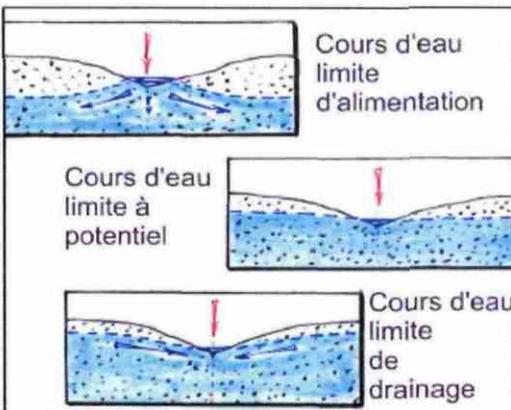
a) Ligne de partage des eaux souterraines



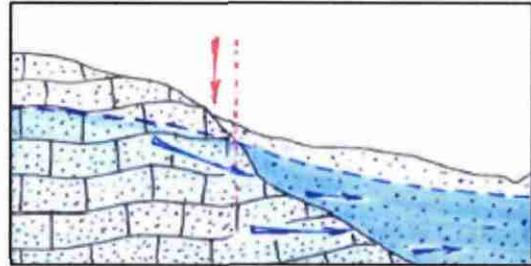
b) Limite étanche



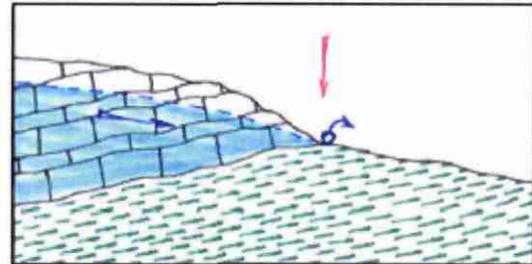
c) Ligne d'affluence d'un aquifère captif à un aquifère libre



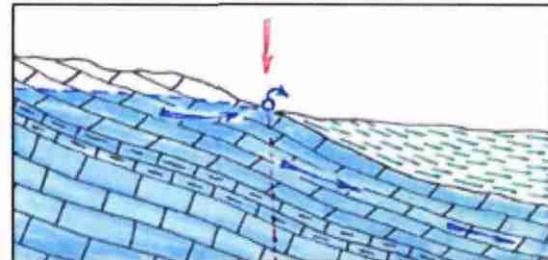
h,i,j) Relations avec les cours d'eau



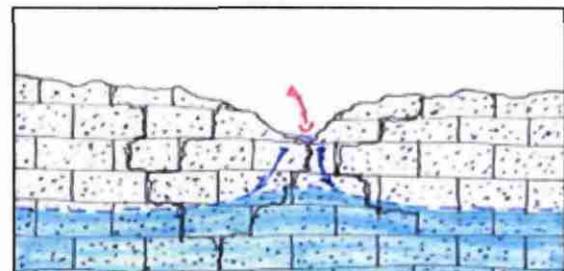
d) Ligne d'affluence des eaux de formations perméables /semi-perméables à un aquifère libre emboîté ou à un autre aquifère en contact par faille.



e) Ligne de sources de déversement



f) Ligne de débordement continue ou discontinue



g) Cours d'eau perché

+ k) limite administrative

+ l) limite inconnue



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