Rapport provisoire

Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA
Bassin Loire-Bretagne- Années 3 et 4

Délimitation des entités hydrogéologiques en Bretagne (année 4) et en Pays-de-la-Loire dans les départements de Vendée, Loire Atlantique et Mayenne (année 3)

Rapport d'étape

BRGM/RP-58196-FR

Juillet 2010

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

ONEMA
Office national de l'eau et des milieux aquatiques

Établissement public du ministère chargé du développement durable

agence de l'eau Loire-Bretagne

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Rapport provisoire

Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA

Bassin Loire-Bretagne - Années 3 et 4

Délimitation des entités hydrogéologiques en Bretagne (année 4) et en Pays-de-la-Loire dans les départements de Vendée, Loire-Atlantique et Mayenne (année 3)

Rapport d'étape

BRGM/RP-58196-FR

Juillet 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM
2008 EAU I34, 2009 EAU I26-I32, 2010 EAU I28

Baudouin V., Chrétien P., Mougin B., Rouxel E.
avec la collaboration de **Xu D.**

Vérificateur	Approbateur
Nom : J.J. Seguin	Nom : E. Palvadeau
Date : 10 Septembre 2010	Date : 27 Septembre 2010

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

Établissement public du ministère chargé du développement durable

Mots clés : Référentiel hydrogéologique, Système aquifère, Domaine hydrogéologique, Bretagne, Pays de la Loire.

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

Baudouin V., Chrétien P., Mougin B., Rouxel E. (2010) avec la collaboration de Xu D. Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA.. Bassin Loire-Bretagne. Années 3 et 4. Délimitation des entités hydrogéologiques en Bretagne (année 4) et en Pays-de-la-Loire dans les départements de Vendée, Loire-Atlantique et Mayenne (année 3). Rapport d'étape. BRGM/RP-58196-FR.

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

Synthèse

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la construction de la version 2 du Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA (anciennement BDRHF-V2). Le territoire couvert par la délimitation des entités hydrogéologiques correspond à 3 départements de la région Pays de la Loire (Loire-Atlantique, Mayenne et Vendée) et aux 4 départements de la région Bretagne, tous situés dans le bassin Loire-Bretagne.

Les entités hydrogéologiques ont été délimitées aux trois niveaux de détail du référentiel (national, régional et local) en domaine de socle et dans les formations du sédimentaire, qui couvrent la plus grande partie du secteur d'étude,

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

- **21 unités de niveau local (NV3)** dans le domaine sédimentaire et **98 entités de socle**.

Ces entités de niveau 3 ont été rattachées à :

- 14 systèmes ou domaines du niveau régional (NV2) dans le thème sédimentaire et 51 dans le thème socle,

et ceux-ci à :

- 24 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1), 9 dans le sédimentaire et 18 dans le thème socle.

A ces entités, s'ajoutent 5 ensembles d'entités "complémentaires", identiques aux trois niveaux de découpage, constituant une "surcouche" du référentiel :

- les systèmes alluvionnaires,
- les altérites superficielles du socle,
- les "pointements" de socle dans les formations sédimentaires,
- les secteurs karstiques connus.
- des formations sédimentaires de faible extension en Bretagne

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

Sommaire

Synthèse **3**

1. Introduction **9**

2. Caractéristiques du référentiel BDLISA et méthodologie de découpage des entités **15**

2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION 15

2.1.1. Les "thèmes" du référentiel 15

2.1.2. Les différents types d'entités hydrogéologiques 15

2.1.3. Les niveaux d'identification 17

2.1.4. Codification et dénomination des entités 17

2.2. LE MODÈLE DE REPRÉSENTATION DES ENTITÉS 18

2.2.1. Principes sous-jacents 18

2.2.2. Organisation des entités en 2 ensembles 18

2.2.3. Ordre absolu et ordre relatif 19

2.3. PRINCIPES ET DÉMARCHE DE DÉLIMITATION 19

2.3.1. Principes de base du découpage 19

2.3.2. Démarche générale 21

2.3.3. Restitution par le modèle de gestion des 3 niveaux de découpage 22

2.3.4. Vérification de la topologie 23

2.4. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS ET DES LIMITES 24

2.4.1. Caractérisation des entités 24

2.4.2. Caractérisation des limites 24

3. Délimitation des entités **27**

3.1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE 27

3.2. ÉLABORATION DES TABLEAUX MULTI-ÉCHELLES 31

3.2.1. Domaine sédimentaire et formations superficielles 31

3.2.2. Domaine de socle 33

3.3. MÉTHODOLOGIE DE DÉLIMITATION DES ENTITÉS DU SÉDIMENTAIRE 33

3.3.1. Exemple de délimitation des entités hydrogéologiques du sédimentaire de la région Bretagne 34

3.3.2. Exemple de délimitation à l'affleurement d'une entité : l'unité semi-perméable des Grès du Pliensbachien 36

3.4. MÉTHODOLOGIE DE DÉLIMITATION DES ENTITÉS DU SOCLE 40

3.4.1. Entités NV1 du socle 40

3.4.2. Entités NV2 du socle 40

3.4.3. Entités NV3 du socle 43

3.5. ENTITÉS HYDROGÉOLGIQUES COMPLÉMENTAIRES 49

3.5.1. Systèmes alluvionnaires 49

3.5.2. Secteurs karstiques connus 49

3.5.3. Altérites en domaine de socle 51

3.5.4. Formations sédimentaires de Bretagne 53

3.5.5. "Pointements" de socle 55

4. Résultats: géodatabase et fiches d'analyse 57

4.1. GÉODATABASE 57

4.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS 62

5. Caractérisation des entités hydrogéologiques 65

5.1. APERÇU GÉOLOGIQUE 65

5.2. ENTITÉS DU THÈME SÉDIMENTAIRE 66

5.2.1. Grand Système Aquifère du Jurassique inférieur (Lias), entité 146 66

5.2.2. Grand Système Aquifère du Jurassique moyen (Dogger), entité 143 67

5.2.3. Grand Domaine des Marnes du Callovo-Oxfordien, entité 140 69

5.2.4. Grand Système Aquifère de l'Oxfordien et du Kimmeridgien inf., entité 13769

5.2.5. Grand Système Multicouche de l'Albien supérieur au Cénomanien, entité 122 69

5.2.6. Grand Système Multicouche du Turonien au Campanien (Séno-Turonien), entité 121 70

5.2.7. Grand Système Multicouche de l'Eocène à l'Oligocène inférieur, entité 113 70

5.2.8. Grand Domaine du Mio-Pliocène, entité 104 71

5.2.9. Grand Domaine du Quaternaire, entité 101 72

6. Conclusion 75

7. Bibliographie 77

Liste des illustrations

Illustration 1 : Progression du référentiel sur le territoire métropolitain et dans les DOM 10
Illustration 2 : Localisation de la zone d'étude 13
Illustration 3 : Types d'entités hydrogéologiques 15
Illustration 4 : Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités. 20
Illustration 5 : Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture. 22
Illustration 6 : Construction d'une entité NV2 à partir des entités NV3. 22
Illustration 7 : Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage. 23
Illustration 8 : Nature des contacts entre entités et limites hydrogéologiques correspondantes. 25
Illustration 9 : Disponibilité des cartes géologiques harmonisées à 1/50 000 sur les régions Pays-de-la-Loire et Bretagne (situation à fin avril 2010) 27
Illustration 10 : Logs validés extraits de la Banque de données du Sous-Sol 29
Illustration 11 : Nombre de caissons distingués dans les cartes géologiques harmonisées départementales 31
Illustration 12 : Construction de l'extension globale d'une entité hydrogéologique 33
Illustration 13 : Carte géologique (a) et carte des formations cénozoïques (b) du bassin de Rennes – Chartres-de-Bretagne (E. Thomas, 1999) 35
Illustration 14 : Age des entités sédimentaires NV3 de Bretagne 35
Illustration 15 : Délimitation d'une entité au niveau des contacts sur une formation plus âgée 37
Illustration 16 : Les polygones de taille réduite sont écartés (zone 3) et les affleurements des formations plus âgées peuvent indiquer des lacunes dans l'entité considérée (zone 4) 38
Illustration 17 : Influence des accidents structuraux sur la délimitation 39
Illustration 18 : Entités de socle de niveau 1 après découpage par le "bloc" sédimentaire 41
Illustration 19 – L'entité codée 256, de trop petite taille après découpage par le "sédimentaire", est rattachée à l'entité 255 41
Illustration 20 : Entités de socle de niveau 2 après découpage par le "bloc" sédimentaire 42
Illustration 21 : Entités de socle de niveau 3 et table attributaire associée (code et appellation) 44
Illustration 22 : Géologie des entités de socle de niveau NV3 (échelle 1/50 000, sauf pour les Côtes d'Armor 1/250 000) 46
Illustration 23 : Nature des entités de socle de niveau NV3 46
Illustration 24 – Caractérisation des entités par un degré de perméabilité 47
Illustration 25 – Exemple d'exploitation de la table attributaire de l'illustration 24 47
Illustration 26 – Caractérisation d'une entité de socle NV1 (code 257) par la lithologie. 48

Illustration 27 : Alluvions fluviatiles des cartes harmonisées en Loire-Atlantique, Mayenne et Vendée, et en région Bretagne 49
Illustration 28 – Systèmes alluvionnaires 50
Illustration 29 – Secteurs karstiques identifiés 50
Illustration 30 : Schéma conceptuel des aquifères de socle (R. Wyns et al., 2004) 51
Illustration 31 : Cartographie des altérites sur les départements bretons, à partir des informations des études hydrogéologiques (les numéros correspondent aux coupures des cartes géologiques à 1/50 000 du BRGM) 52
Illustration 32 – Entités complémentaires du thème "sédimentaire" en Bretagne 54
Illustration 33 : Etapes de la finalisation des entités de socle NV1-2-3 du Massif Armoricain (zoom sur la jonction des départements Sarthe, Maine-et-Loire et Mayenne) 55
Illustration 34 : Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap 57
Illustration 35 : Tables non géométriques de la géodatabase 58
Illustration 36 : Menu général de la géodatabase 58
Illustration 37 : Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général 59
Illustration 38 : Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs) 60
Illustration 39 : Exemple de sélection: entités de niveau 2 et d'ordre 1 60
Illustration 40 : Table des limites. 61
Illustration 41 : Table des natures de contacts entre entités 61
Illustration 42 : Editeur de cartes du modèle de gestion du référentiel 62
Illustration 43 : Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche) 63
Illustration 44 : Exemple de fiche descriptive (partie droite) d'une entité 64
Illustration 45 : Bloc diagramme figurant la transgression infraliasique de la Vendée méridionale (C. Roy, 1987) 66
Illustration 46 : Bloc diagramme figurant la transgression marine au Lias inférieur (C. Roy, 1987) 68
Illustration 47 : Bloc diagramme figurant la sédimentation des calcaires marneux du Lias moyen et supérieur (C. Roy, 1987) 68
Illustration 48 : Bloc diagramme figurant les dépôts jurassiques de la Vendée méridionale jusqu'au Callovien (C. Roy, 1987) 68

Liste des annexes

Annexe 1 Découpage des entités hydrogéologiques en domaine de socle – Notes méthodologiques 81
Annexe 2 Lexique de caractérisation des entités d'après le guide méthodologique (Rapport BRGM RP-52261-FR) 141
Annexe 3 Le modèle de gestion du référentiel et la géodatabase des entités 145
Annexe 4 Tableau multi-échelles du thème sédimentaire 167
Annexe 5 – Tableau multi-échelles du thème socle 181

1. Introduction

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

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

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

Un premier travail de type méthodologique (phase 1 de la construction), mené sur la période 2001-2003, a permis :

- de dresser une première liste d'entités hydrogéologiques à intégrer dans le référentiel ; ces entités ont été identifiées sur l'ensemble de la France à deux niveaux de représentation : un niveau national (grandes entités) et un niveau régional, subdivision des entités de niveau national ;
- de réaliser un premier découpage, indicatif, des entités identifiées ;
- de mettre au point une méthodologie de découpage sur la base de 6 tests réalisés sur le territoire de chacune des Agences de l'Eau ; d'élaborer un modèle conceptuel de données pour l'élaboration de la future base de données du Référentiel.

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

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

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

Elle tient compte aussi de l'évolution des connaissances géologiques et hydrogéologiques; elle utilise en particulier, les cartes géologiques harmonisées à l'échelle du 1/50 000.

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

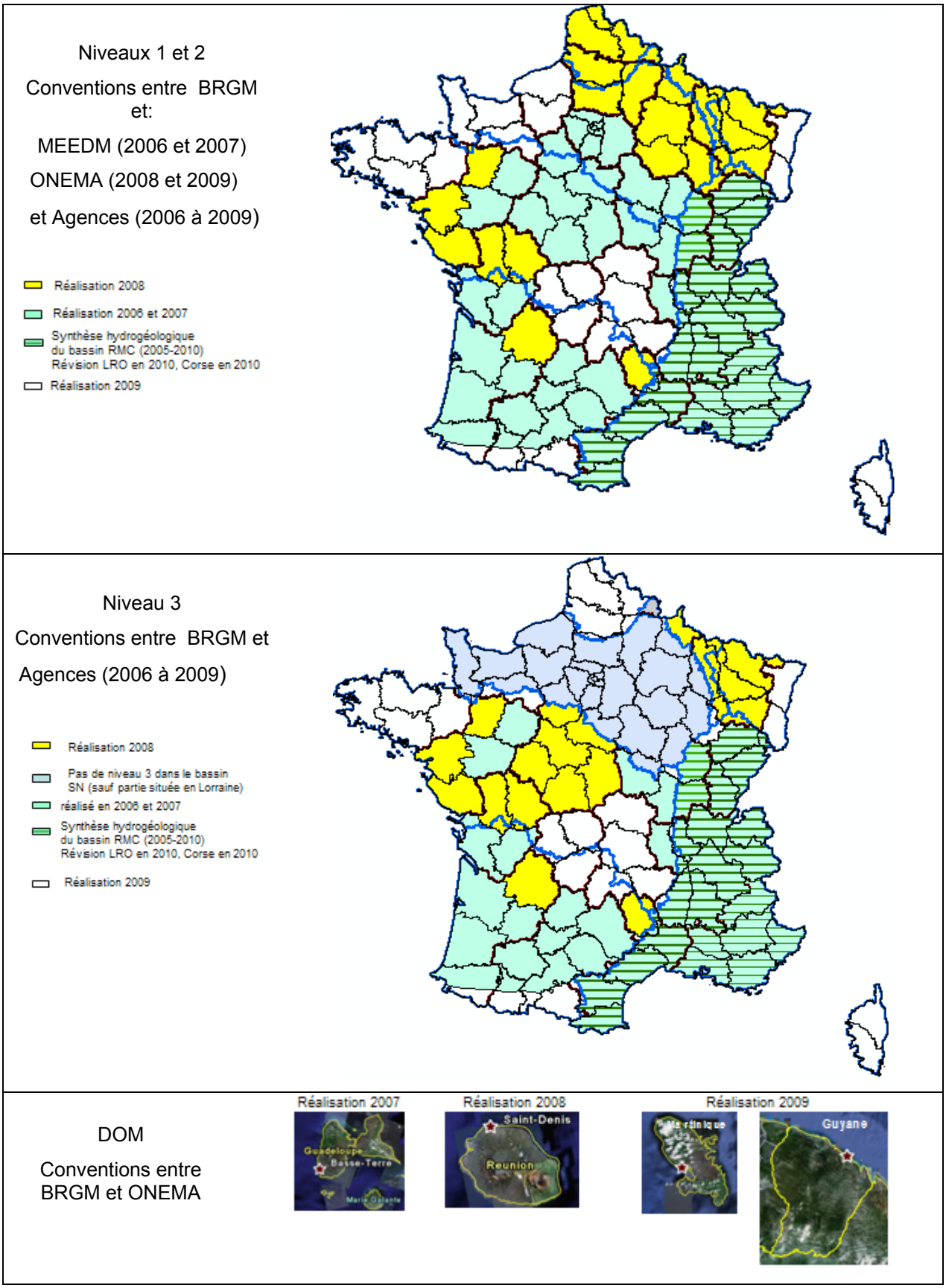


Illustration 1 : Progression du référentiel sur le territoire métropolitain et dans les DOM

-

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

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

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

Régions Bretagne et Pays-de-la-Loire

Ce rapport rend compte de la réalisation du référentiel en Bretagne (année 4 du projet) et en Pays-de-la-Loire dans les départements de la Vendée, de Loire-Atlantique et de la Mayenne (année 3 du projet).

La délimitation des entités est réalisée aux 3 niveaux de détail du référentiel (national NV1, régional NV2 et local NV3) en conformité avec le guide méthodologique national (Rapport BRGM RP-52261-FR, 2004) et avec les propositions faites en 2007-2008 dans le cadre de l'actualisation de ce guide demandée par le comité de pilotage du Référentiel.

Le secteur d'étude s'étend sur les 3 départements de la région Pays-de-la-Loire (Vendée, Loire-Atlantique et Mayenne) et sur les 4 départements de Bretagne (Illustration 2).

La région des Pays de la Loire se situe au carrefour de trois grands domaines géologiques : le Massif Armoricain dont les formations affleurent surtout en Mayenne, en Loire-Atlantique, dans la moitié occidentale du Maine-et-Loire et en Vendée, le Bassin de Paris dont les formations affleurent essentiellement dans la Sarthe et dans la moitié orientale du Maine-et-Loire et le Bassin d'Aquitaine dont les formations affleurent au sud de la Vendée.

Les formations géologiques de la région Bretagne appartiennent quant à elles uniquement au Massif Armoricain, principalement constitué de terrains cristallins (granites, gneiss, micaschistes…) et secondairement de terrains sédimentaires (calcaires, grès…).

Le travail a bénéficié du soutien financier de l'ONEMA pour la délimitation des entités au niveau national (NV1) et au niveau régional (NV2) et de l'Agence de l'Eau-Loire Bretagne pour les 3 niveaux de délimitation (national, régional, local).

Il a été mené dans le cadre de conventions entre le BRGM et l'ONEMA d'une part (2008 pour l'année 3 et 2009 pour l'année 4, niveaux 1 et 2) et le BRGM et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne d'autre part (2008 pour l'année 3 et 2009 pour l'année 4, les 3 niveaux).

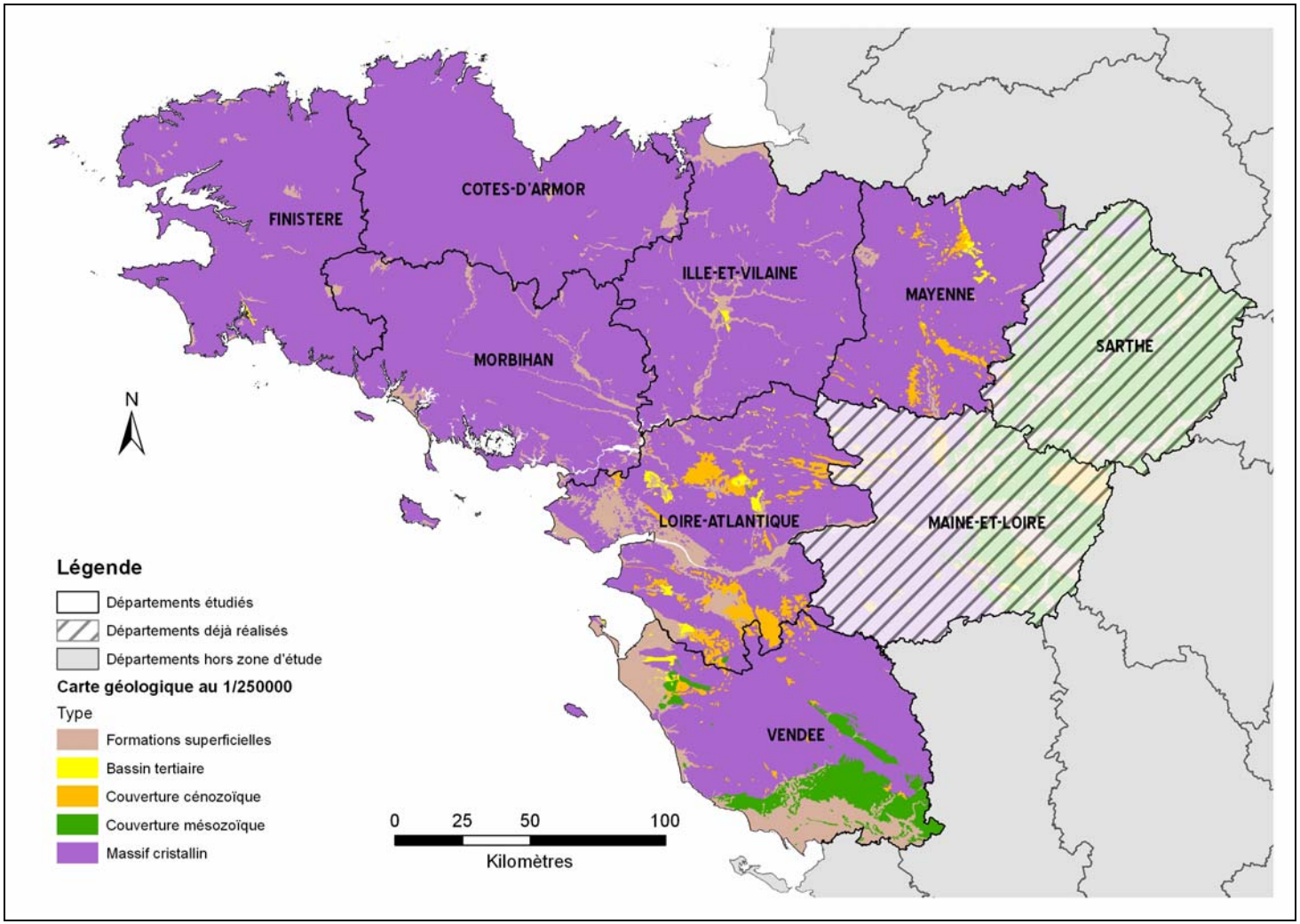


Illustration 2 : Localisation de la zone d'étude

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

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

- de contextes particuliers non abordés dans le guide méthodologique,
- d'une conceptualisation plus poussée nécessitée par la mise au point d'un modèle de gestion du référentiel (décrit en annexe 3), actuellement supporté par le logiciel ArcGis (version 9.31).

Ces adaptations ont été soumises au Comité de pilotage du projet et seront mentionnées dans une version actualisée du guide méthodologique (à paraître en 2011).

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

2.1. PRINCIPES DE CONSTRUCTION

2.1.1. Les "thèmes" du référentiel

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

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

2.1.2. Les différents types d'entités hydrogéologiques

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

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

Illustration 3 : Types d'entités hydrogéologiques

- **Le grand système aquifère (NV1)**

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

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

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

- **Le système aquifère (NV2)**

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

- **Le domaine hydrogéologique (NV2)**

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

- **L'unité aquifère (NV3)**

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

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

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

- **L'unité semi-perméable (NV3)**

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

- **L'unité imperméable (NV3)**

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

2.1.3. Les niveaux d'identification

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

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

2.1.4. Codification et dénomination des entités

Un code, attribué par le SANDRE, sera affecté à chaque entité. Il est construit avec :

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

Par exemple :

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

Le libellé de l'entité hydrogéologique est construit en juxtaposant :

- la lithologie dominante de l'entité,
- son appartenance à un étage stratigraphique,
- sa localisation géographique.

Par exemple : *Calcaires oxfordiens du Bassin parisien*.

Dans cette phase de construction du référentiel, la codification nationale ci-dessus a été introduite mais la dénomination des entités est pour le moment provisoire.

2.2. LE MODÈLE DE REPRÉSENTATION DES ENTITÉS

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

2.2.1. Principes sous-jacents

Le "modèle de gestion du référentiel" a été développé sous ArcGis (actuellement version 9.31) et s'appuie sur un modèle conceptuel de données (annexe 3). Ce modèle conceptuel permet d'exploiter de façon optimale la base de données du référentiel sous ArcGis. La construction du référentiel est guidée par les 5 principes suivants.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2.2. Organisation des entités en 2 ensembles

1) Entités principales

Elles constituent l'essentiel du référentiel. Elles sont :

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

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

2) Entités complémentaires

Elles constituent une "surcouche" du référentiel. Elles regroupent différents types d'entités qui sont telles qu'elles ne permettent pas de respecter l'homogénéité du

référentiel ou qui constituent des cas particuliers difficilement intégrables dans le cadre général du référentiel :

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

Ces entités peuvent se superposer aux 3 niveaux de découpage du référentiel. Un code commun permet de les rattacher éventuellement aux entités principales dont elles sont issues (exemple "altérites de socle" et "entités socle") ou sur lesquelles elles reposent.

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

2.2.3. Ordre absolu et ordre relatif

Dans le tableau multi-échelles, un numéro d'ordre est affecté à chaque entité délimitée (cf. illustration 4a). Cet ordre est dit "absolu" (codé par exemple sous la forme 10, 20, 30, 40,…) et peut correspondre à un âge stratigraphique.

La délimitation des entités conduit à une "pile hydro-stratigraphique" d'entités (le tableau multi-échelles) qui sont ordonnées sur la verticale grâce au numéro d'ordre absolu (cf. illustration 4b).
Le modèle de gestion du référentiel permet de passer automatiquement du mode de représentation des entités par ordonnancement absolu (illustration 4 b) à un mode de représentation des entités par ordonnancement relatif (cf. illustration 4c**), qui est celui de la représentation des entités dans le SIG** et qui correspond à l'ordre réel de superposition des entités dans une coupe verticale qui pourrait être réalisée dans le référentiel.

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

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

2.3. PRINCIPES ET DÉMARCHE DE DÉLIMITATION

2.3.1. Principes de base du découpage

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

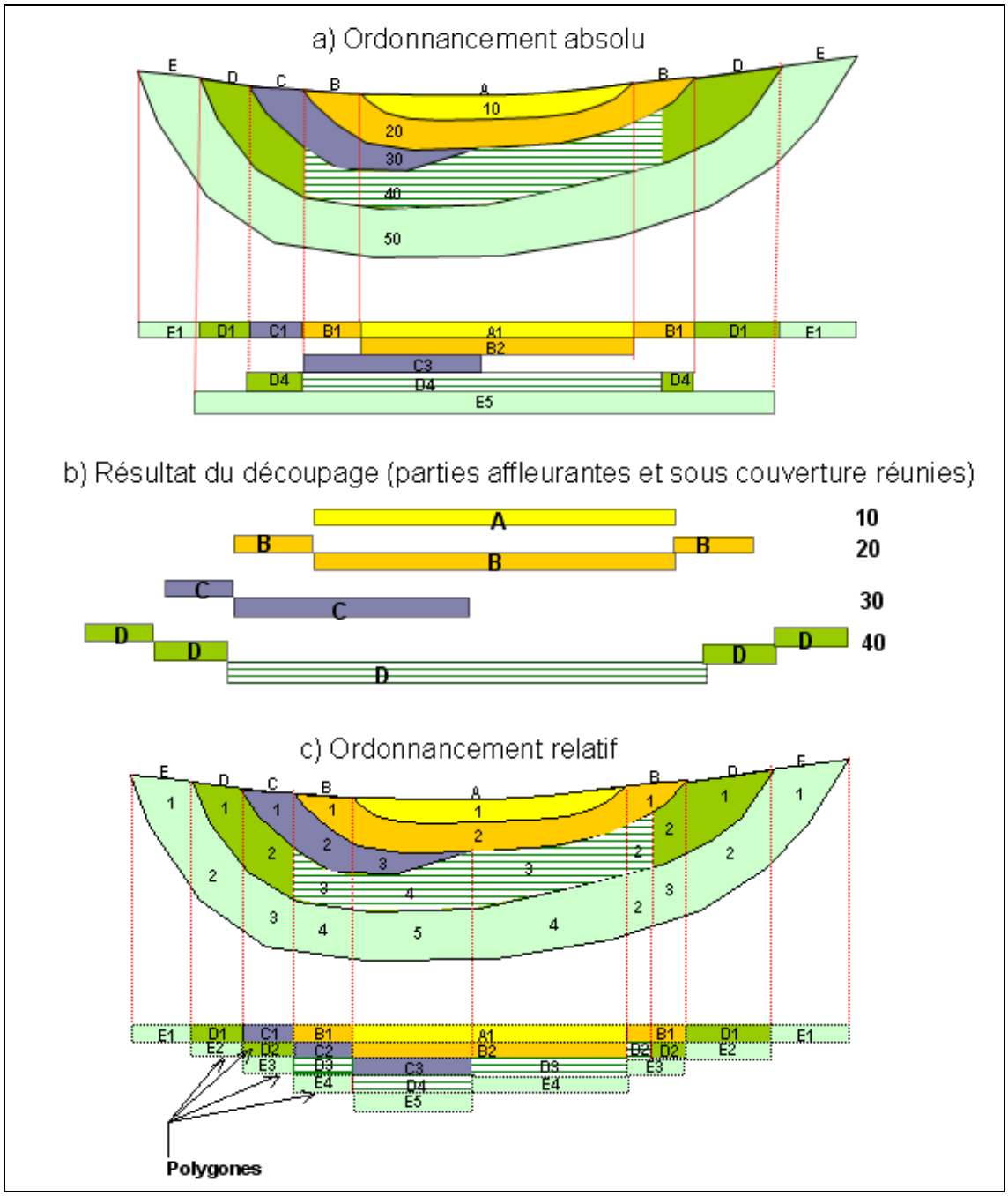


Illustration 4 : Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif dans la succession verticale des entités.

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

Les entités du niveau 1 résultent de l'assemblage de celles du niveau 2, ces dernières résultant elles-mêmes d'un regroupement des entités du niveau 3 (il peut néanmoins exister des cas où une entité de niveau 3 s'étendant sur 2 entités de niveau 2 appartenant à des thèmes différents, en général passage de " l'Intensément plissée" au "Sédimentaire". Il n'y a donc pas de simplification des contours (lissage) d'un niveau à un autre.

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

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

2.3.2. Démarche générale

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

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

- **Identification et cadrage hydrogéologique général**

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

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

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

Ce tableau récapitule tous les types d'entités existant dans la zone d'étude et les superpose verticalement suivant un ordre stratigraphique. C'est en quelque sorte l'équivalent, au plan hydrogéologique, d'un log géologique synthétique régional. Il constitue le support du découpage projeté aux trois échelles d'identification.

Dans la phase d'élaboration du TME on recherche une correspondance d'une part entre les formations géologiques des cartes au 1/50000 et les formations géologiques mentionnées dans les logs de forage et d'autre part entre ces formations géologiques ainsi mises en relation (cartes et logs) et les entités hydrogéologiques.

- **Individualisation de l'alluvial**

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

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

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

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

• **Découpage des entités du sédimentaire**

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

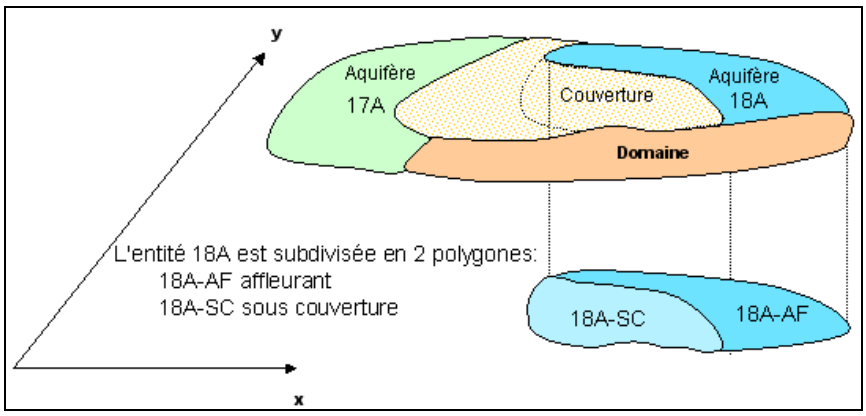


Illustration 5 : Représentation d'une entité hydrogéologique affleurante et sous couverture.

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

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

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

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

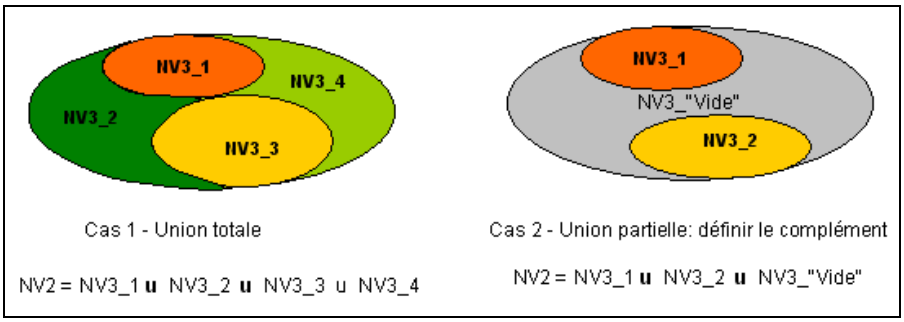


Illustration 6 : Construction d'une entité NV2 à partir des entités NV3.

2.3.4. Vérification de la topologie

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

Ce modèle est présenté en détail en annexe 3. Entre autres possibilités, il permet de passer automatiquement d'un ordonnancement absolu des entités (correspondant à l'ordre dans lequel toutes les entités identifiées se succèdent sur la verticale, en général un ordre correspondant à un âge stratigraphique) à un ordonnancement relatif, qui est celui de la représentation des entités dans le SIG et qui correspond à l'ordre réel de superposition des entités dans une coupe verticale qui pourrait être réalisée dans le référentiel (cf. illustration 4 ci-dessus).

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

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

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

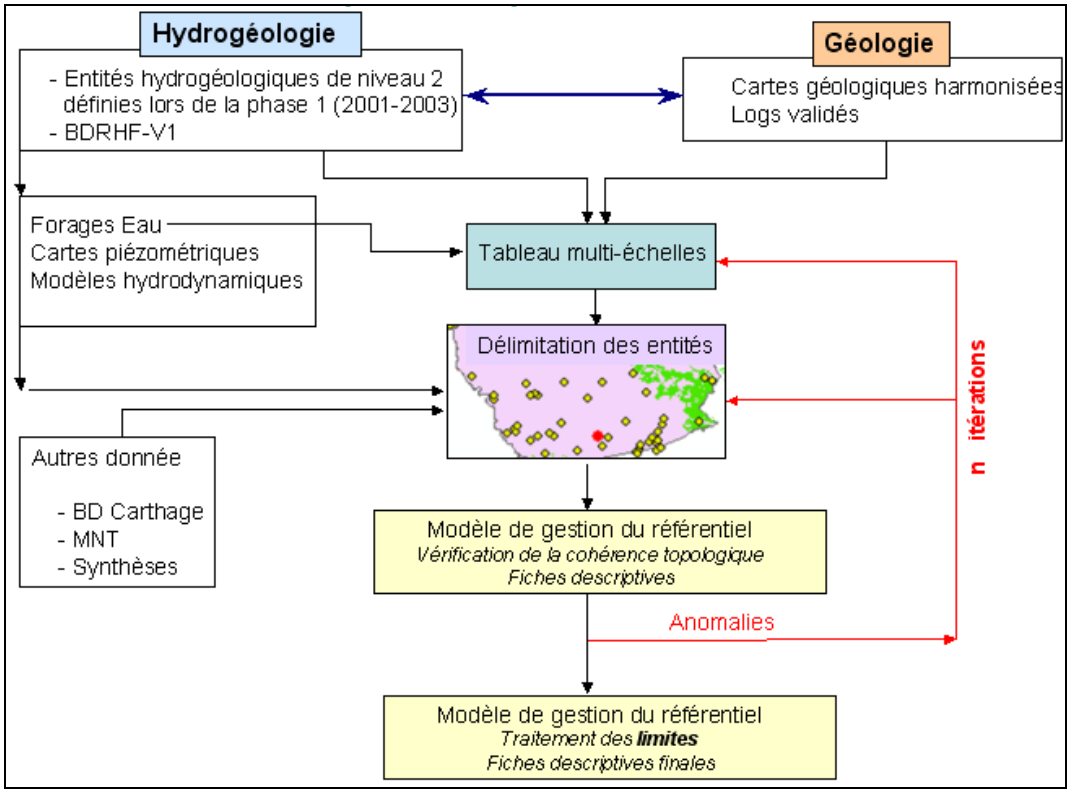


Illustration 7 : Processus de délimitation des entités hydrogéologiques et de contrôle de la cohérence 3D de l'assemblage.

2.4. CARACTÉRISATION DES ENTITÉS ET DES LIMITES

2.4.1. Caractérisation des entités

Dans le référentiel une entité est caractérisée (actuellement) par les attributs suivants (cf. annexe 2) :

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

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

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

2.4.2. Caractérisation des limites

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

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

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

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

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

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

Ces aspects sont détaillés en annexe 3 (§1.2.4).

Par ailleurs, à une nature de contact, il est possible dans certains cas de rattacher un type de limite (exemples fournis dans le tableau de l'illustration 8).

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

Illustration 8 : Nature des contacts entre entités et limites hydrogéologiques correspondantes.

3. Délimitation des entités

3.1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE

Plusieurs sources d'informations ont été utilisées pour la délimitation des entités des formations sédimentaires et des formations de socle :

- les cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000 et notices,
- les cartes géologiques harmonisées à l'échelle u 1/50 000 sur 8 des 9 départements étudiés (Illustration 9),
- la carte géologique synthétique du Massif Armoricain au 1/250 000 (RABU D., CHANTRAINE J. et BECHENNEC F., 2001. BRGM),
- les polygones des entités hydrogéologiques de la BDRHF V1,
- les logs géologiques validés sur la région Bretagne extraits de la Banque de données du Sous-Sol : **7 372 forages** (Illustration 10),
- les logs géologiques validés de la région Pays-de-la-Loire extraits de la Banque de données du Sous-Sol: **3 936 forages** ont été extraits, soit **23 980 passes lithologiques**, (Illustration 10)
- les polygones des entités issus du découpage indicatif effectué aux niveaux 1 & 2 lors de la phase méthodologique d'élaboration du référentiel,
- les polygones des masses d'eau souterraine,
- le MNT (Modèle Numérique de terrain) au pas de 50 m a été utilisé pour fermer des polygones d'entités présentes à l'affleurement et dont le tracé était interrompu sur de courtes distances par des formations superficielles,
- les informations recueilles dans différents rapports d'études, cités en bibliographie,
- les informations fournies par les géologues des Services Géologiques Régionaux,
- les informations fournies par M. Claude ROY, hydrogéologue du Conseil général de Vendée.

Région	Département	Disponibilité	Date
Pays-de-la-Loire	Loire-Atlantique (44)	oui	Novembre 2007
Pays-de-la-Loire	Maine-et-Loire (49)	oui	Août 2006
Pays-de-la-Loire	Mayenne (53)	oui	Janvier 2010
Pays-de-la-Loire	Sarthe (72)	oui	Août 2006
Pays-de-la-Loire	Vendée (85)	oui	Août 2009
Bretagne	Côtes d'Armor (22)	non	/
Bretagne	Finistère (29)	oui	Novembre 2008
Bretagne	Ille-et-Vilaine (35)	oui	Janvier 2010
Bretagne	Morbihan (56)	oui	Mars 2009

Illustration 9 : Disponibilité des cartes géologiques harmonisées à 1/50 000 sur les régions Pays-de-la-Loire et Bretagne (situation à fin avril 2010)

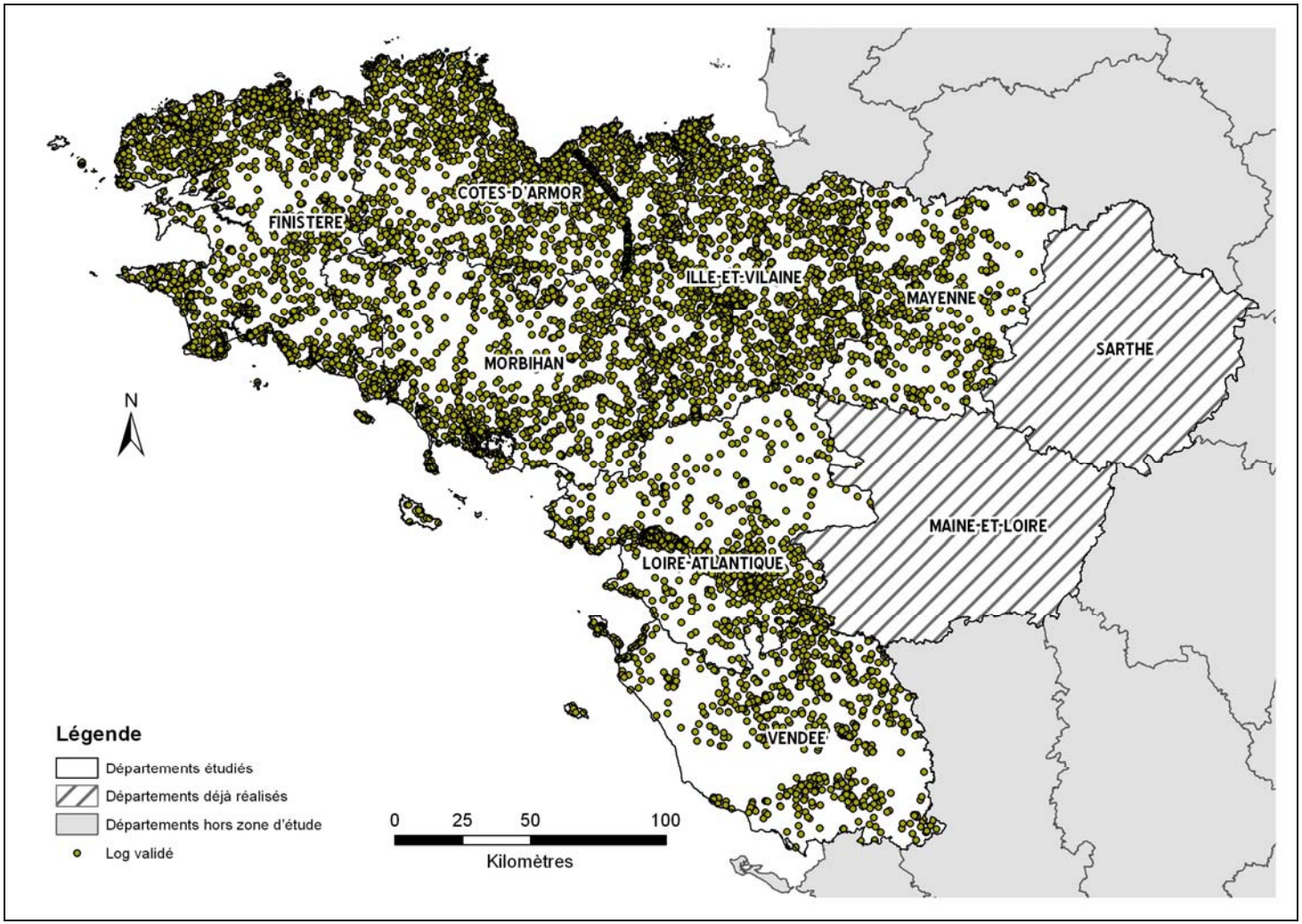


Illustration 10 : Logs validés extraits de la Banque de données du Sous-Sol

Les cartes géologiques harmonisées à 1/50 000 disponibles au début de l'année 3 du projet BD-LISA (année 2008) concernaient 3 départements de la région Pays-de-la-Loire (44-49-72). Les départements 29-56-85 ont ensuite été couverts en 2008-2009. Les départements 35-53 ont été finalisés en début d'année 2010. Enfin, la carte du 22 n'était pas encore disponible fin avril 2010. Dans le département des Côtes d'Armor, la carte géologique synthétique au 1/250 000 (RABU D. et al. 2001) sera utilisée.

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

- la BD Carthage (Base de Données sur la CARtographie THématique des AGences de l'Eau et du ministère de l'Environnement) du bassin Loire-Bretagne. Edition 2008 - Données utilisées : région, secteur, sous-secteur et zone hydrographique (contours), et cours d'eau (linéaire) ;
- la BD Carthage sur le bassin Seine-Normandie (même édition 2008) ;
- une extraction de la Banque HYDRO des stations hydrométriques du Massif Armoricain (leurs caractéristiques sont listées en annexe 1) ;
- un tableau de synthèse réalisé par P. LE BERRE (géologue du SGR/BRE) dans le cadre du projet Référentiel Géologique de France (correspondance entre les appellations des formations géologiques au 1/250 000 et au 1/50 000) ;
- les forages de la Banque du Sous-Sol (BSS) implantés sur les régions Pays-de-la-Loire et Bretagne en zone de socle et renseignés par le débit instantané obtenu en fin de foration (4 136 forages en Pays-de-la-Loire et 12 127 forages en Bretagne).

3.2. ÉLABORATION DES TABLEAUX MULTI-ÉCHELLES

3.2.1. Domaine sédimentaire et formations superficielles

3.2.1.1 Identification et découpage des entités

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

L'élaboration du référentiel a nécessité plusieurs étapes de travail :

1) Etablissement de la liste complète des "caissons" [1] pour chaque département à partir des cartes harmonisées.

	Formations superficielles	Couverture sédimentaire
Loire-Atlantique	53	35
Mayenne	16	7
Vendée	33	47

Illustration 11 : Nombre de caissons distingués dans les cartes géologiques harmonisées départementales

On retrouve peu de formations sédimentaires en Mayenne, département essentiellement situé en zone de socle, sans bassin d'effondrement tertiaire majeur. Les différences de degré de synthèse entre départements expliquent pourquoi 53 caissons pour les formations superficielles sont recensés en Loire-Atlantique, contre seulement 33 en Vendée.

2) Parallèlement, compilation de l'ensemble des appellations des formations géologiques reconnues dans les logs validés. Il en ressort, toujours sous la forme d'un lexique, une soixantaine d'appellations distinctes destinées à être rattachées aux entités géologiques des lexiques établis à partir des cartes harmonisées.

Les relations établies entre les cartes géologiques harmonisées et les niveaux reconnus des logs validés permettront de tracer les extensions sous couverture des entités hydrogéologiques.

3) Etablissement d'un tableau multi-échelles (niveaux 1, 2 et 3) pour chaque département sur la base de la liste des "caissons". Faire les regroupements pertinents de caissons nécessite de comprendre au mieux ce qui les différencie (ou non) sur le plan lithologique et comment les formations se succèdent les unes aux autres (verticalement et latéralement). Cette étape a donc nécessité la consultation des références bibliographiques, des cartes géologiques harmonisées et des notices de toutes les cartes géologiques au 1/50 000.

Comme pour la Sarthe et le Maine-et-Loire, il a été décidé de traiter séparément les trois départements, car établir d'emblée un tableau multi-échelles unique était hasardeux compte-tenu des différences entre les cartes harmonisées.

[1] Dans une carte géologique harmonisée, un caisson correspond à un terrain identifié sur la carte.

4) Tracé des contours pour chaque entité définie en commençant par les plus anciennes (Jurassique inférieur de la Vendée). Ce travail s'est appuyé à la fois sur la carte harmonisée (affleurements des entités) et sur les logs validés (entités sous couverture).

Cette première étape de tracé des contours a permis de mieux visualiser les entités de niveau 3 déjà définies. Elle a également fait ressortir des difficultés de délimitation liées au manque de logs validés pour tracer l'extension sous couverture ou , plus rarement, à un degré de précision différent d'une carte à une autre (limite ne pouvant être prolongée).

5) Révision du tableau multi-échelles sur la base du travail de tracé des contours (prise en compte des contours définis et des problèmes rencontrés). Cette révision a permis d'améliorer le tableau multi-échelles en procédant aux regroupements utiles (formations semblables et contigües).

6) Constitution d'un tableau multi-échelles unique pour les trois départements et la région Bretagne, vérification de la continuité des entités d'un département à l'autre, et prise en compte des travaux réalisés pour la BDLISA en région Poitou-Charentes.

7) Reprise des contours tracés. La carte harmonisée ainsi que les logs validés ont servi de base de travail.

8) Vérification de la cohérence cartographique des entités définies (en latéral et en vertical) grâce aux logs validés extraits de la BSS.

3.2.1.2. Principales sources de difficultés

- **Le manque de logs validés et les différences de lexique avec les cartes harmonisées**

Dans de nombreux secteurs de la région Pays-de-la-Loire, les logs validés sont en nombre insuffisant pour permettre de délimiter avec exactitude les entités sous couverture. Dès lors, ces limites deviennent théoriques. Par ailleurs, les appellations des cartes harmonisées et celles des logs validés peuvent être différentes pour une même formation géologique, ce qui complique le recoupement des informations, d'autant plus que les logs utilisés dans les départements de Loire-Atlantique, de Mayenne et de Vendée sont réputés « validés » bien qu'ils n'aient pas systématiquement été vérifiés par le géologue régional.

- **Les interprétations**

La révision successive du tableau multi-échelles et des contours des entités, en vérifiant à chaque fois leur cohérence, a permis de recouper les informations entre elles pour **tenter de s'affranchir des extrapolations ou interprétations liées à l'appréciation des auteurs** (au stade des logs, de la validation des logs, de l'établissement des cartes géologiques, de l'harmonisation des cartes). A l'usage, il est apparu que les informations liées à des appréciations peuvent être sources de complexité inutile (même formation avec un libellé différent selon la carte) ou d'erreur (formation mal identifiée).

3.2.1.3. Résultats

Le tableau multi-échelles établi pour les formatons sédimentaires de Bretagne, Loire-Atlantique, Mayenne et Vendée est consultable en annexe 4. Il intègre les 3 niveaux d'identification (NV1, NV2 et NV3).

Au total, pour le domaine sédimentaire, ont été délimités :

- **24 unités de niveau local (NV3)**,
- **12 systèmes ou domaines du niveau régional (NV2)**,
- **6 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1)**.

A ces entités**,** il faut ajouter les formations constituant la surcouche du référentiel (les "entités complémentaires", cf § 2.2.2) :

- **les secteurs karstiques connus,**
- **les alluvions fluviatiles,**
- **les altérites superficielles du socle et les " pointements" de socle dans le sédimentaire.**

3.2.2. Domaine de socle

Contrairement à la méthodologie suivie dans le domaine sédimentaire, le découpage des entités de socle débute par le niveau national NV1, puis par le niveau régional NV2 et se termine par le niveau local NV3. Le travail de délimitation des entités du thème socle est détaillé au § 3.4.
Dans la construction du tableau multi-échelles (consultable en annexe 5), il a été tenu compte des départements du Maine-et-Loire et de la Sarthe traités en année 2 du projet. Le découpage dans ces 2 départements a été révisé pour réaliser l'harmonisation avec les 4 départements de la région Bretagne et les 3 départements de la région Pays de la Loire, traités dans le cadre de la présente étude. Au total, pour l'ensemble de ces 9 départements, ont été délimitées :

- **18 entités de niveau 1**
- **51 entités de niveau 2**
- **98 entités de niveau 3**

3.3. MÉTHODOLOGIE DE DÉLIMITATION DES ENTITÉS DU SÉDIMENTAIRE

En général, une entité est constituée d'une partie affleurante et d'une partie sous couverture. L'objectif est de regrouper ces deux parties pour obtenir l'extension globale de l'entité (illustration 12).

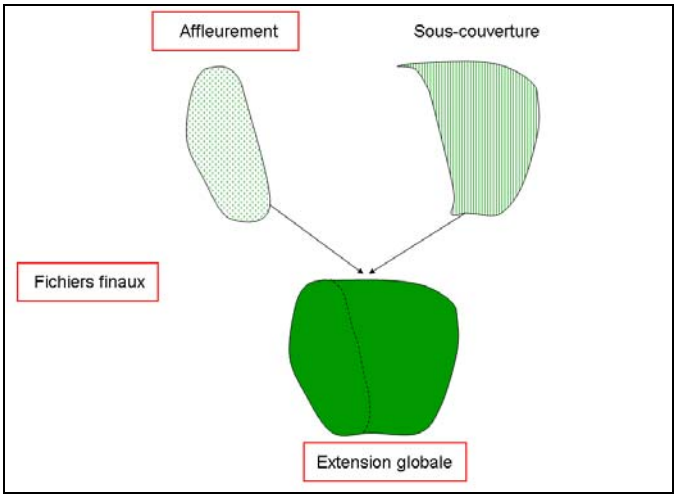


Illustration 12 : Construction de l'extension globale d'une entité hydrogéologique

- Cas des entités recouvertes par des formations de la surcouche

Le travail consiste à ôter les formations superficielles qui seront rangées dans la surcouche du référentiel (alluvions, placages, formations résiduelles, …) afin de combler les lacunes spatiales qui résultent de cette suppression et reconstituer ainsi les entités sous-jacentes.

- Cas général

Le tracé de la courbe enveloppe d'une formation s'appuie sur les données de forages, la connaissance régionale des hydrogéologues et géologues, et sur les affleurements de la couche considérée. Il s'appuie également sur les affleurements plus anciens : le contour d'une entité donnée ne pouvant pas recouper les zones d'affleurements d'une formation plus ancienne.
Lorsque toutes les entités sont délimitées (à l'affleurement et en profondeur, les polygones constitutifs sont intégrés dans le modèle de gestion du référentiel (supporté par ArcGis). Après traitements topologiques, le modèle restitue automatiquement parties affleurantes et sous couvertures.
Les limites d'extension des entités sous-couverture peuvent être approximatives faute de données (forages) en nombre suffisant. Elles pourront évoluer en fonction des connaissances ultérieurement acquises.

3.3.1. Exemple de délimitation des entités hydrogéologiques du sédimentaire de la région Bretagne

La Bretagne est essentiellement une zone de socle constituée de terrains datés du Précambrien au Primaire. Outre ces formations de socle, on rencontre des petits bassins d'âge Tertiaire éparpillés sur les quatre départements bretons. Ces bassins d'effondrement, appelés graben, ont été préservés à la faveur du jeu de failles et sont constitués d'accumulations sédimentaires généralement de quelques dizaines de mètres d'épaisseur (sédiments cénozoïques).

Dans chaque carte géologique harmonisée à 1/50 000, tous les contours des formations du sédimentaire ont été sélectionnés (CODE=13-17-18-19 pour le 29, CODE=24-25-30 pour le 56, CODE=53 à 62 et 65-66-68 pour le 35). Etant donné l'absence de carte géologique 1/50 000 harmonisée dans les Côtes-d'Armor, les principaux bassins Tertiaire ont été retenus (Le Quiou, Saint-Jacut-du-Méné et Penvénan) et digitalisés à l'échelle 1/50 000 à partir des fonds géoréférencés des cartes géologiques.

Des contours géologiques ont été repris et retravaillés (digitalisation des secteurs sous placage alluvionnaire, assemblage des zones de part et d'autre des vallées, dessin des contours sous jacents et délimitation en fonction des coupes des logs géologiques validés) à partir des informations suivantes : schémas structuraux et notices des cartes géologiques, failles, logs géologiques validés (disponibles sur le site Internet InfoTerre BRGM), bibliographie (notamment ESTEOULE-CHOUX J. (1967) et les nombreuses figures de la thèse d'Eric THOMAS (1999).

Les délimitations des bassins Tertiaire présentées dans la thèse d'Eric THOMAS (1999) ont été réalisées à partir des "*données sur les sédiments cénozoïques préservés à terre (…), les données obtenues par sondage, par dragage ou par exploration sismique*" (exemple sur l'Illustration 13 ci-après).

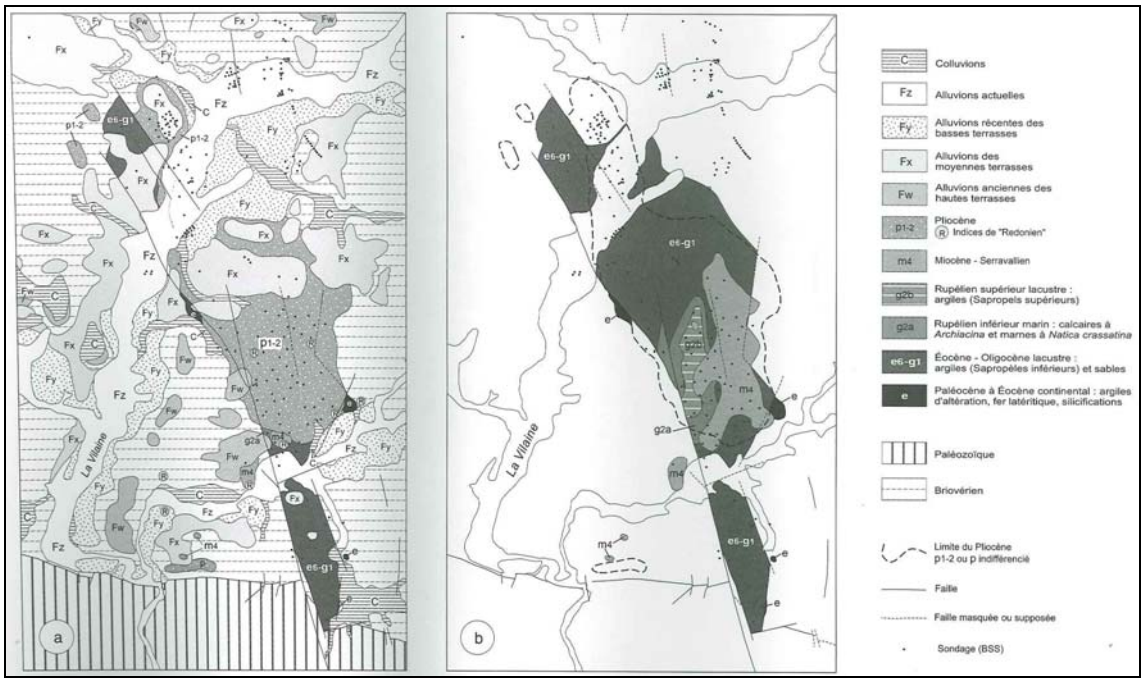


Illustration 13 : Carte géologique (a) et carte des formations cénozoïques (b) du bassin de Rennes – Chartres-de-Bretagne (E. Thomas, 1999)

Une liste recensant 49 bassins Tertiaire bretons a été établie et l'empilement de dépôts d'âges différents a été mentionné (Pliocène-Miocène-Oligocène-Eocène).

Les entités de niveau 3 ont été finalisées en assemblant les contours des formations d'âges semblables selon le tableau de l'Illustration 14 et en assurant une cohérence avec les entités de la région Pays-de-la-Loire. En cas de lithologies différentes au sein de formations de même âge (cas du Pliocène et de l'Oligocène inférieur), deux entités ont été distinguées.

Age	Age de la formation	Départ.	Nom des bassins	Code entité NV3
Indéterminé	Tertiaire indifférencié	29-35	Bassins du Finistère et d'Ille-et-Vilaine	F2B1
Pliocène	Pliocène (p) (p1-2) (pG) (p-IV)	56	Mohon, Radenac	F2B2
		35	Argentré-du-Plessis, Lassy, Le-Theil-de-Bretagne, Pipriac (Le Meneu), Rannée La-Guerche-de-Bretagne, Retiers, Saint-Malo-de-Phily, Saint-Séglien...	
	Pliocène (pA)	56	Bassins du Morbihan	F2B3
		35	Bassins d'Ille-et-Vilaine	
Miocène	Miocène moyen (m) (m2a) (m2-4) (m3-4)	22	Le Quiou-Tréfumel	F2C1
		35	Chartres-de-Bretagne Bruz, St-Grégoire, Dingé, Feins, Lohéac, St-Sauveur-des-Landes, Coësmes, Gahard, Guipel, Landujan, St-Aubin-d'Aubigné	
Oligocène	Oligocène inf. (g1)	22	Saint-Jacut-du-Mené	F4B1
		35	Loutehel	
	Oligocène inf. (g1)	29	Crozon, Guilers, Aber-Ildut	F4A1
		35	Chartres-de-Bretagne Bruz, Langon, Les Brulais, Pipriac (La Cohiais)	
Eocène	Eocène sup. (e7-g1) (e)	35	Landéan, Chartres-de-Bretagne Bruz, Pipriac (Bouëssic), Pipriac (La Cohiais)	F4B2
		29	Quimper Toulven	
	Eocène moyen (e)	22	Penvénan	F4B3
	Eocène inf. (e4) (e3-7)	35	Chartres-de-Bretagne Bruz, Pont-Péan, Grand-Fougeray, Teillay	F4G1
		56	Port-Louis Lorient	

Illustration 14 : Age des entités sédimentaires NV3 de Bretagne

La nature de 3 entités de niveau NV3 a pu être caractérisée grâce à des valeurs de perméabilités trouvées dans des rapports d'études hydrogéologiques menées par le BRGM entre 1971 et 1981 (voir liste en bibliographie). Pour le reste des entités, la nature "aquifère, semi-perméable ou imperméable" a été affectée en se basant uniquement sur la lithologie rencontrée.

3.3.2. Exemple de délimitation à l'affleurement d'une entité : l'unité semi-perméable des Grès du Pliensbachien

Les grès du Pliensbachien constituent une formation semi-perméable qui s'étend dans la plaine jurassique de Luçon, en Vendée méridionale. Ses affleurements sont fournis par la carte géologique harmonisée de la Vendée à l'échelle du 1/50 000.

L'extension doit inclure l'ensemble des affleurements de la formation (**1ère contrainte de digitalisation**) mais ne peut en aucun cas être présente au dessus des affleurements plus anciens (**2ème contrainte**).

Lors d'une première étape, on écarte les affleurements de taille réduite (< 2 km^2) déconnectés du corps principal de la formation (zone 3 de l'Illustration 16). Chaque affleurement est étudié dans le détail pour éviter d'écarter un affleurement qui aurait une fonction hydrogéologique significative (par exemple, présence de sources pérennes au mur de la formation affleurant, qui seraient le signe de l'existence d'une ressource aquifère).

Dans un second temps, on s'appuie sur les limites d'affleurements conservés qui se trouvent au contact de la formation sous-jacente (plus âgée), qu'il s'agisse de la formation directement inférieure (zone 1 de l'Illustration 15) ou du socle (zone 2 de l'Illustration 15).

Les affleurements des formations plus âgées au sein du corps principal de l'entité considérée – ici, le Pliensbachien – indiquent les zones lacunaires (zone 4 de l'Illustration 16). Les accidents structuraux (failles) fournissent parfois des indications sur les limites des entités (zone 5 de l'Illustration 17).

Il arrive fréquemment que l'entité plonge sous des formations plus jeunes (pendage des couches) et, dans ce cas de figure, aucune indication de surface ne permet de localiser le contour de l'entité. Ce sont les logs validés, issus de la Banque du Sous-Sol (BSS), qui sont alors utilisés pour déterminer l'extension sous couverture de l'entité (lire § 3.2.1.2.).

Enfin, lors d'une ultime étape, on passe en revue chaque polygone de l'entité ainsi construite afin de s'assurer de la cohérence de l'ensemble. Lors de la construction de l'entité, le respect de la topologie (sommet des contours des polygones) est essentiel et permet d'éviter d'inopportuns papillons, croisillons, ou chevauchements des contours.

L'extension finale présente deux niveaux de précision en fonction des données disponibles. Au niveau des contacts entre les affleurements de la formation et les affleurements plus anciens le niveau de précision est identique à celui de la carte harmonisée (contours identiques). Ces contacts constituent les points de contrainte majeurs du contour de l'extension. Plus on s'éloigne de ces points de contrainte, moins le niveau de précision est élevé, les contours de l'entité étant masqués par les formations superficielles et donc définis sur la base des logs validés.

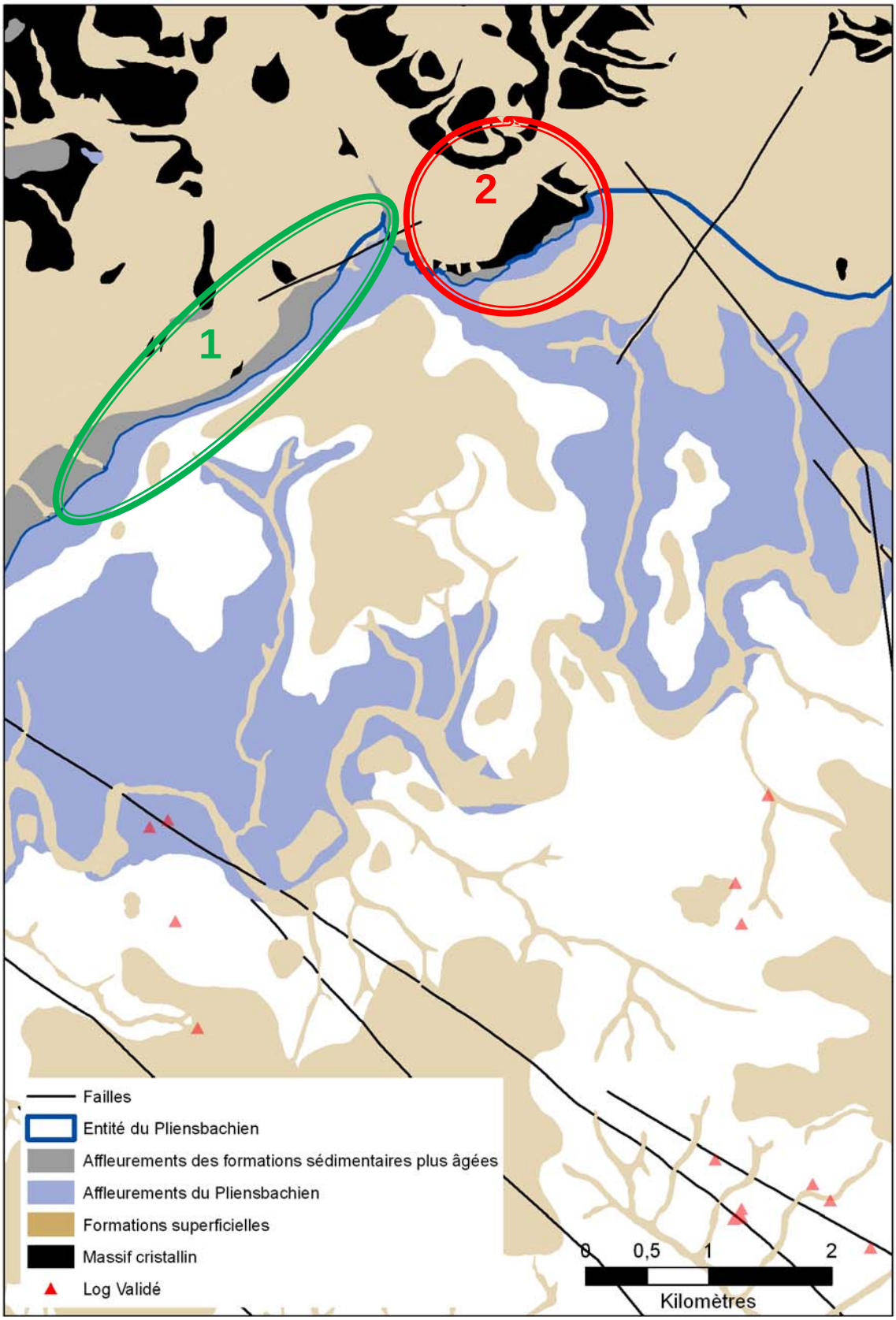


Illustration 15 : Délimitation d'une entité au niveau des contacts sur une formation plus âgée

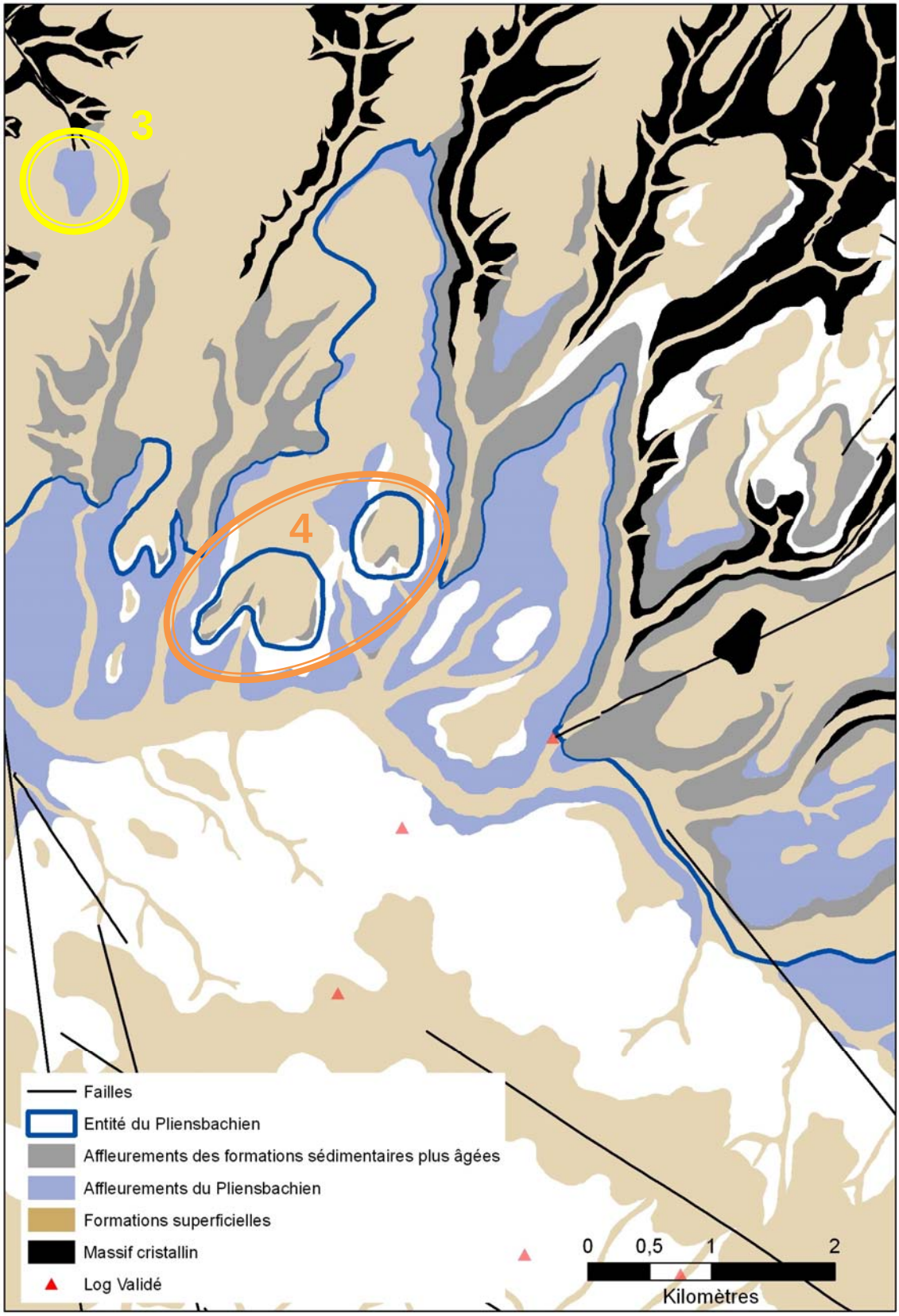


Illustration 16 : Les polygones de taille réduite sont écartés (zone 3) et les affleurements des formations plus âgées peuvent indiquer des lacunes dans l'entité considérée (zone 4)

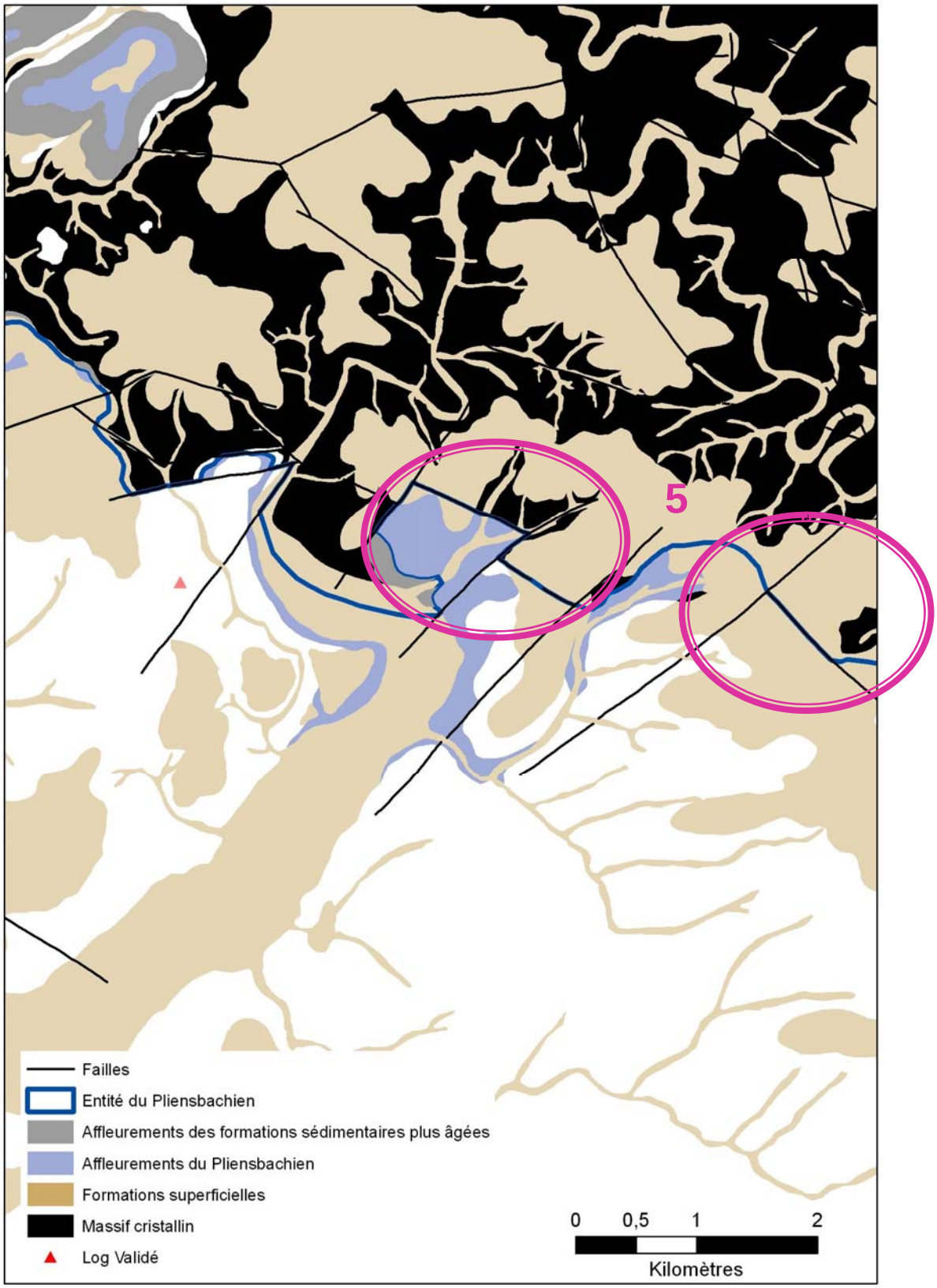


Illustration 17 : Influence des accidents structuraux sur la délimitation

3.4. MÉTHODOLOGIE DE DÉLIMITATION DES ENTITÉS DU SOCLE

La méthodologie générale (Rapport BRGM RP 52261- 2003), appliquée en année 2 du projet dans les départements du Maine-et-Loire et de la Sarthe n'est pas transposable à toutes les régions: peu de données, morcellement des formations, cartes non harmonisées ou manquantes (cas du Limousin et de l'Auvergne).

Pour pallier ces difficultés, une autre démarche a été utilisée, applicable à tous les domaines de socle du territoire, et qui permet aussi de préserver le travail effectué suivant la méthodologie générale (appliquée aux 2 départements mentionnés ci-dessus).

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

Ce chapitre présente le travail de découpage des entités de socle des régions Pays-de-la-Loire et Bretagne. Comme mentionné ci-dessus les découpages réalisés sur les départements Maine-et-Loire et Sarthe (en année 2 du projet) ont été révisés. Ils sont présentés ci-dessous, assemblés avec ceux des trois autres départements de la région Pays-de-la-Loire (année 3 du projet) et avec ceux de la région Bretagne (année 4 du projet).

Le travail a d'abord été mené régionalement, puis les entités de socle de chaque région ont été harmonisées.

Les travaux relatifs au découpage des entités hydrogéologiques de socle sont détaillés dans la note placée en annexe 1. Dans les paragraphes qui suivent, on reprend de façon résumée cette note.

3.4.1. Entités NV1 du socle

La recherche des entités NV1 a été faite à partir des secteurs hydrographiques de la BD Carthage.

19 entités NV1 de socle ont été initialement définies**.** Puis les bordures Est et Sud des contours de ces entités de socle ont fait l'objet d'un découpage avec la limite du domaine sédimentaire (illustration 18).

Parmi ces 19 entités, 8 sont situées en Bretagne, 9 en Pays-de-la-Loire, 1 en Poitou-Charentes (le socle se poursuivant dans cette région a aussi été pris en compte dans l'harmonisation), une (code 253) est partagée entre Bretagne et Pays de la Loire, 4 se prolongent (plus ou moins) dans la région Basse-Normandie.
De cet ensemble, on ne retiendra que **18 entités NV1**, l'une (codée 256) ayant, après découpage avec le "bloc sédimentaire", une superficie de 6 km^2 seulement. Elle sera rattachée (géométriquement) à l'entité 255 (illustration 19).
La superficie de ces 18 entités va de 264 km^2 (entité 269) à 8292 km^2 (entité 254)

3.4.2. Entités NV2 du socle

La délimitation des entités NV2 a nécessité plusieurs étapes.

- Découpage des entités selon les contours des sous-secteurs hydrographiques de la BD Carthage inclus dans les entités NV1. Certains sous-secteurs ont été regroupés selon des critères de superficie et de continuité des cours d'eau. Dans d'autres bassins (superficie supérieure à 200 km²), certains affluents des principaux cours d'eau ont été séparés selon les contours des zones hydrographiques de la BD Carthage.

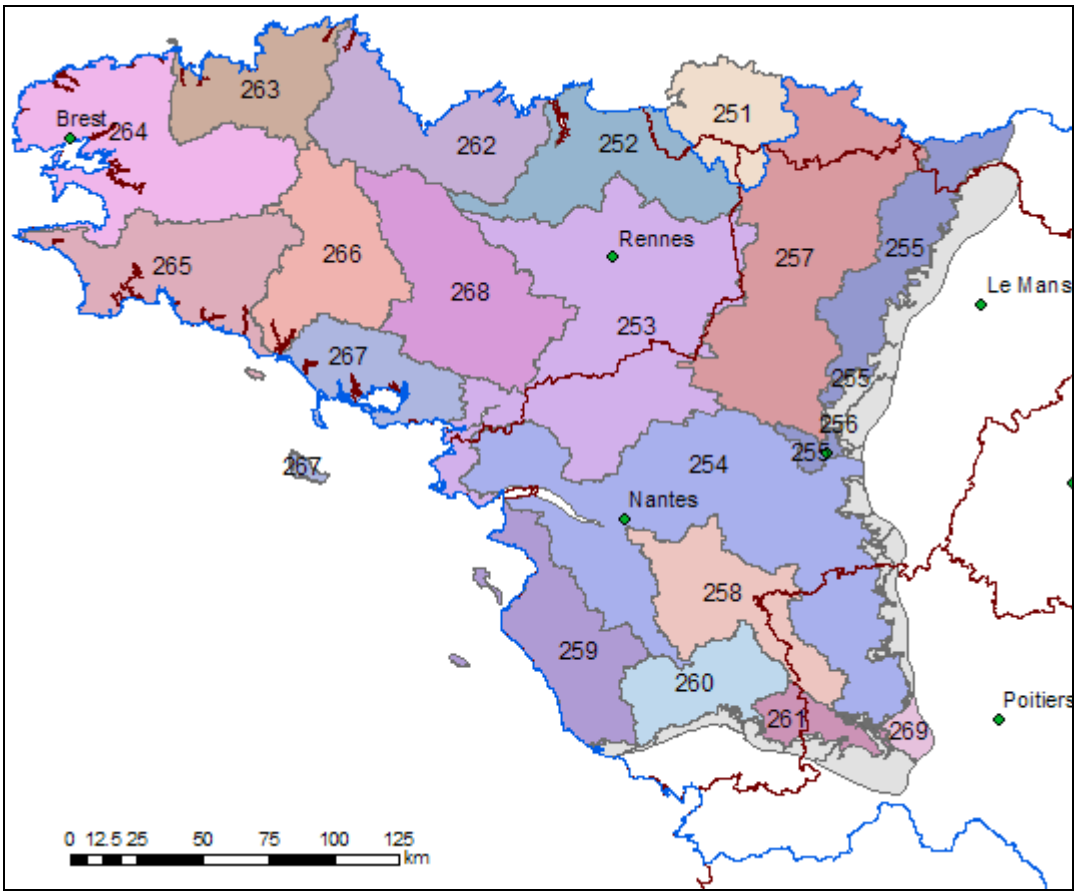


Illustration 18 : Entités de socle de niveau 1 après découpage par le "bloc" sédimentaire
(en grisé sur la figure, les bassins versants se prolongeant dans les formations sédimentaires)

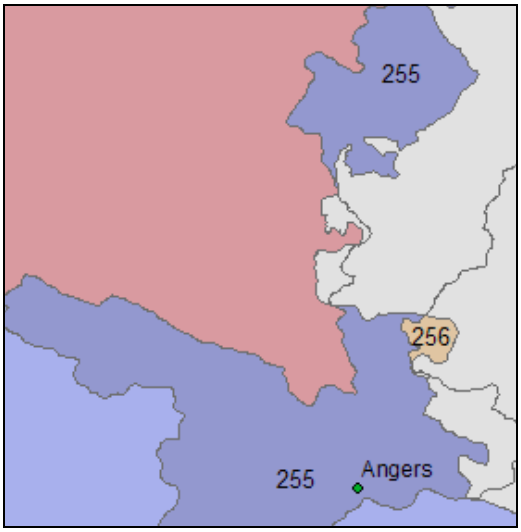


Illustration 19 – L'entité codée 256, de trop petite taille après découpage par le "sédimentaire", est rattachée à l'entité 255

En grisé sur la figure, les bassins versants NV1 se prolongeant dans les formations sédimentaires.
La continuité de l'entité 255 est rompue après découpage par le "sédimentaire" .

- Calcul du débit d'étiage spécifique (cf. détail en annexe 1 : QES en l/s/km²) sur les stations hydrométriques situées le plus à l'aval des cours d'eau et, si possible, avec un historique de données d'au moins 10 ans pour affecter un QES à chaque entité précédemment définie.
- Regroupement des bassins contigus situés dans la même entité NV1 et de même classe de QES (cf. détail en annexe 1).

En procédant ainsi, 52 entités NV2 de socle ont été définies : 28 ont leur centroïde en Bretagne, 18 en Pays de la Loire, 3 en Poitou-Charentes, 3 en Basse-Normandie (Illustration 20).

Comme expliqué ci-dessus, on ôte l'entité 256A, de trop petite taille après découpage avec le "bloc sédimentaire". Elle sera rattachée à 255A. On ne retient donc que **51 entités NV2** avec une superficie allant de 264 km^2 (entité 254C) à 7215 km^2 (entité 253A).

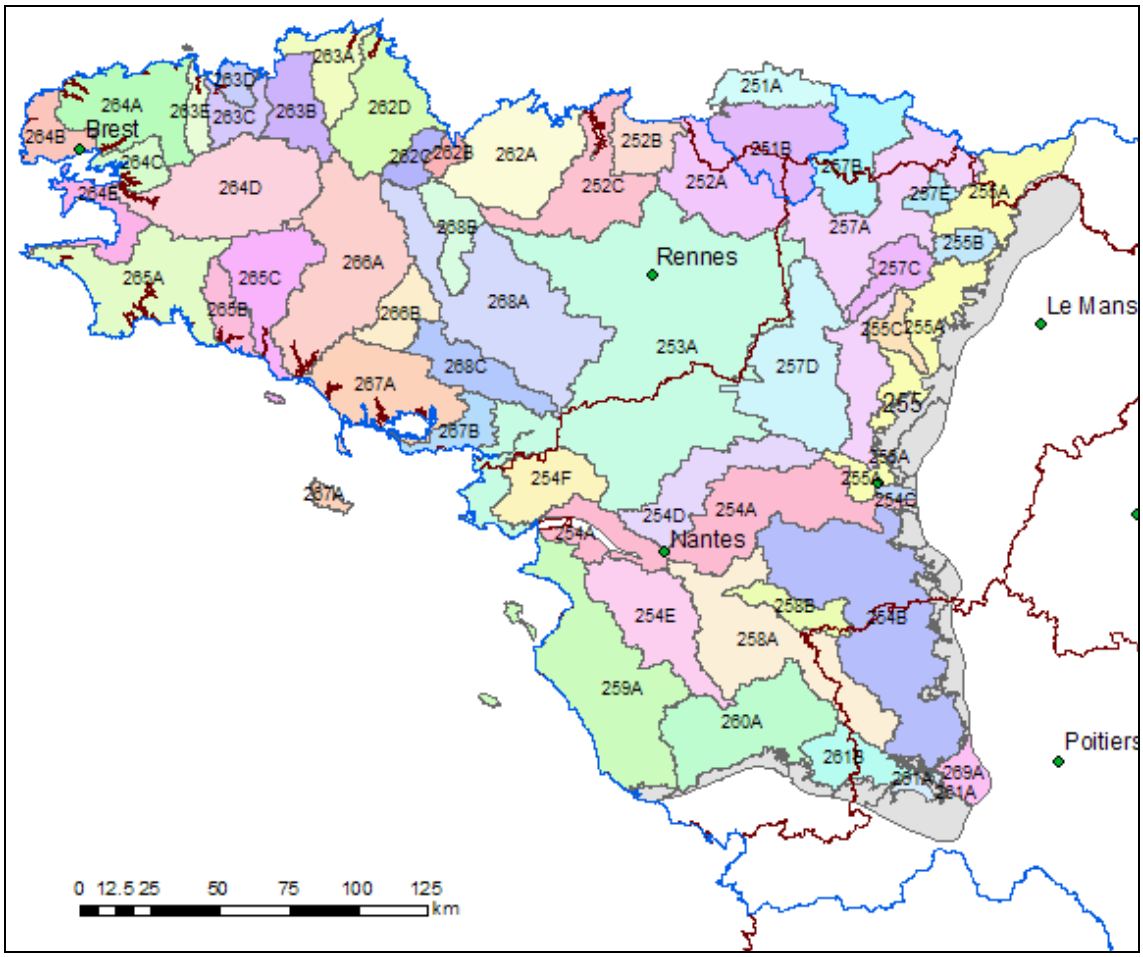


Illustration 20 : Entités de socle de niveau 2 après découpage par le "bloc" sédimentaire
(en grisé sur la figure, les bassins versants se prolongeant dans les formations sédimentaires)

3.4.3. Entités NV3 du socle

3.4.3.1. Découpage des entités

Les entités NV3 correspondent aux sous-secteurs hydrographiques de la BD Carthage inclus dans les entités NV2.

Certains sous-secteurs ont été regroupés selon des critères de superficie et de continuité des cours d'eau. On rappelle que certaines entités NV2 ont été constituées en séparant certains affluents des principaux cours d'eau en utilisant les zones hydrographiques de la BD Carthage.

99 entités de niveau 3 ont été obtenues (illustration 21), mais comme pour les niveaux 1 et 2, l'entité 256A01, trop petite, a été rattaché à l'entité 255A01.

On ne retient donc que **98 entités NV3 de socle** : 57 ont leur centroïde situé en Bretagne, 33 en Pays de la Loire, 5 en Poitou-Charentes, 3 en Basse Normandie.

3.4.3.2. Caractérisation de la géologie et de la nature des entités de niveau 3

Le niveau NV3 est ensuite renseigné en prenant en compte les différentes formations géologiques et leurs potentialités aquifères.

La caractérisation des entités de niveau 3 a nécessité 5 étapes de traitement :

1) Sélection des formations de socle dans les cartes géologiques harmonisées (échelle de travail 1/50 000[2])

2) Analyse des données de forages (débits) pour déterminer les potentialités aquifères des formations géologiques (échelle de travail 1/250 000)

Caractérisation de chaque formation de socle (formations géologiques de la carte au 1/250 000) par deux paramètres : le débit moyen du quartile supérieur (ou moyenne des débits des 25% "meilleurs forages") et l'indice de productivité défini par le rapport : débit moyen des forages sur profondeur moyenne des forages (débit instantané moyen par mètre foré).

Selon les gammes de ces deux paramètres, la potentialité aquifère de chaque formation a pu être déterminée (aquifère, semi-perméable, imperméable).

A l'issue de cette étape, 216 entités géologiques[3] sont caractérisées par leur lithologie et par leur nature aquifère (ou pas).

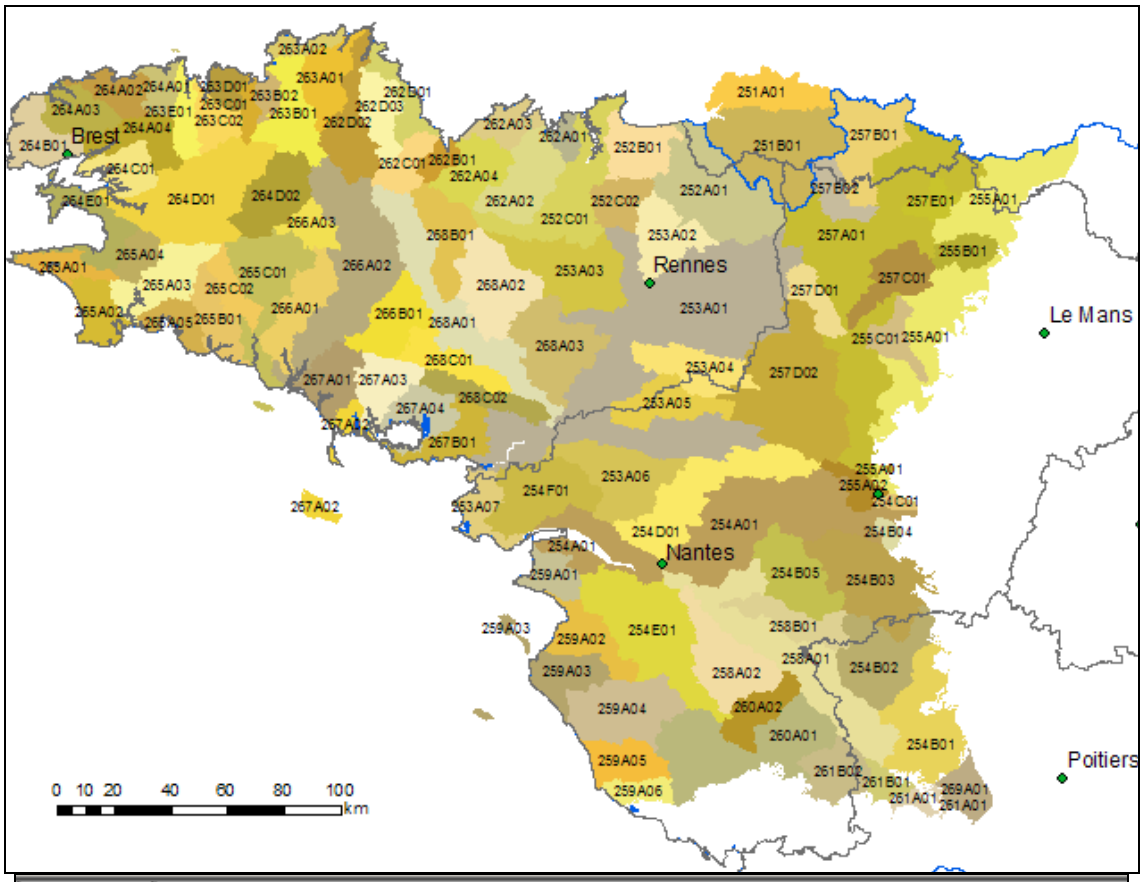
3) Etablissement des correspondances entre la carte géologique au 1/250 000 et les cartes géologiques harmonisées au 1/50 000

Les entités de niveau NV3 devant être caractérisées au 1/50 000, la correspondance entre les formations géologiques définies et renseignées à l'étape précédente et les formations des cartes géologiques harmonisées a permis d'acquérir la précision des contours.

---

[2] échelle de travail 1/50 000, sauf pour le département des Côtes d'Armor pour lequel la carte harmonisée n'est pas disponible à fin avril 2010

[3] Comme cela a été réalisé dans le cadre du projet SILURES Bretagne et en raison de l'importante superficie de la Formation de la Mayenne (schistes du Briovérien), cette formation est divisée en deux de part de d'autre de la faille de Quessoy Nort-sur-Erdre orientée Nord-Ouest Sud-Est.



RHF_ENTITE	RHF_DENOMI
266B01	L'Evel de sa source au Blavet (nc)
267A01	Ria d'Etel de sa source à la mer & côtiers
267A02	Rivière de Crac'h de sa source à la mer, Belle-Ile
267A03	Le Loc'h de sa source à la mer & côtiers
267A04	Le Vincin, la Marle et le Liziec de leurs sources à la mer & côtiers
267B01	L'Etier de Billiers de sa source à la mer & côtiers
268A01	L'Oust de sa source à la Vilaine (nc)
268A02	Le Ninian et l'Yvel de leurs sources à l'Oust (nc)
268A03	L'Aff de sa source à l'Oust (nc)
268B01	Le Lié & ses affluents
268C01	La Claie de sa source à l'Oust (nc)
268C02	L'Arz de sa source à l'Oust (nc)

99 Show: All Selected Records (0 out of 99 Selected) Options

Illustration 21 : Entités de socle de niveau 3 et table attributaire associée (code et appellation)

4) Finalisation du découpage

Pour terminer le découpage des entités de niveau 3, la limite précise du contact socle - sédimentaire a été considérée (Elle a aussi permis de finaliser les entités de socle des niveaux 1 et 2, comme déjà mentionné ci-dessus).

La limite de la zone de socle du Massif Armoricain correspond aux limites d'affleurements relevées sur les cartes géologiques harmonisées et aux limites interprétées grâce aux logs géologiques (exemple : présence de socle sous les alluvions). Cette limite a été digitalisée à l'échelle du 1/50 000.

La partie des bassins versants située en domaine sédimentaire est supprimée.

5) Caractérisation des entités

Cette phase finale utilise 2 couches SIG : d'une part les 216 entités géologiques (illustration 22), caractérisées par un degré de perméabilité: aquifère, semi-perméable, imperméable (illustration 23) et d'autre part les 99 bassins versants-entités NV3.

L'intersection de ces 2 couches conduit à une table attributaire permettant (par sélections et jointures successives) de caractériser chaque entité NV3 sous la forme des pourcentages de sa superficie correspondant aux 3 (ou 2 ou 1 selon les résultats de l'intersection) degrés de perméabilité qui ont été affectés aux formations géologiques (illustration 24).

Un exemple d'exploitation de cette table est fourni par l'illustration 25.

L'illustration 26 montre quant à elle un exemple de caractérisation d'une entité par la lithologie.

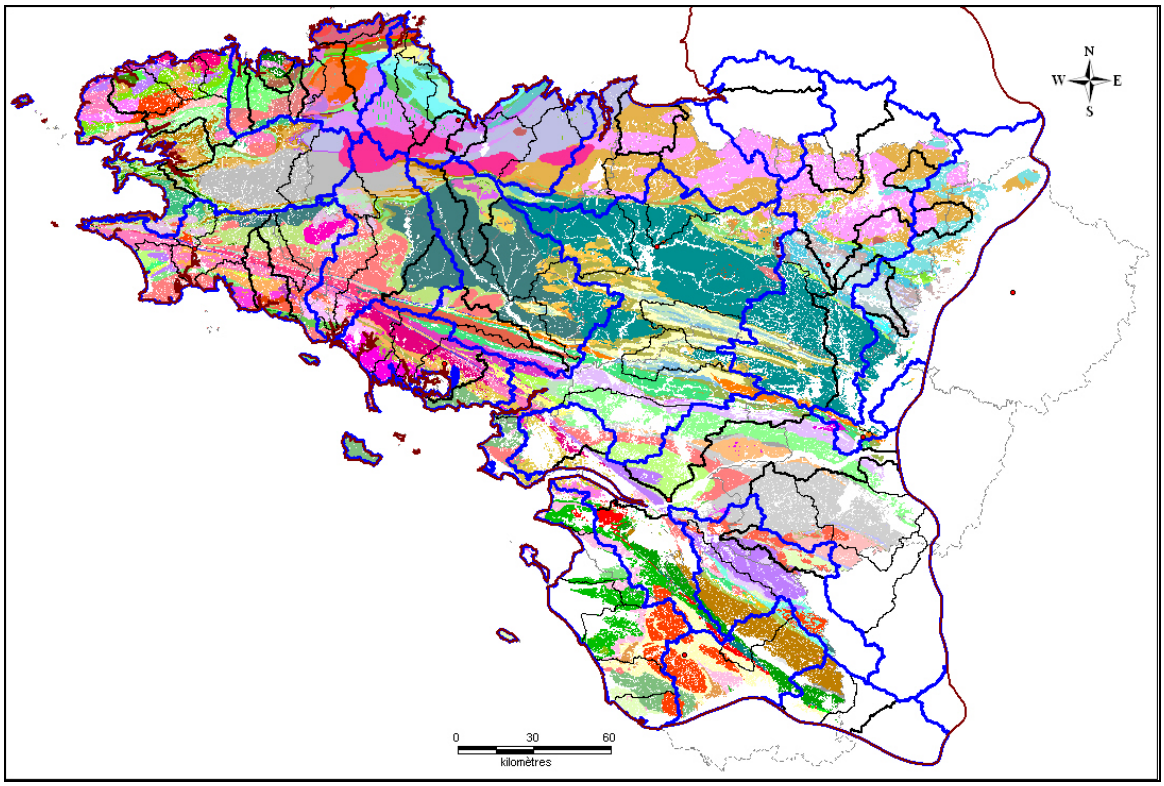


Illustration 22 : Géologie des entités de socle de niveau NV3 (échelle 1/50 000, sauf pour les Côtes d'Armor 1/250 000)

(Pas de légende en raison du grand nombre de formations: simple illustration de la complexité)

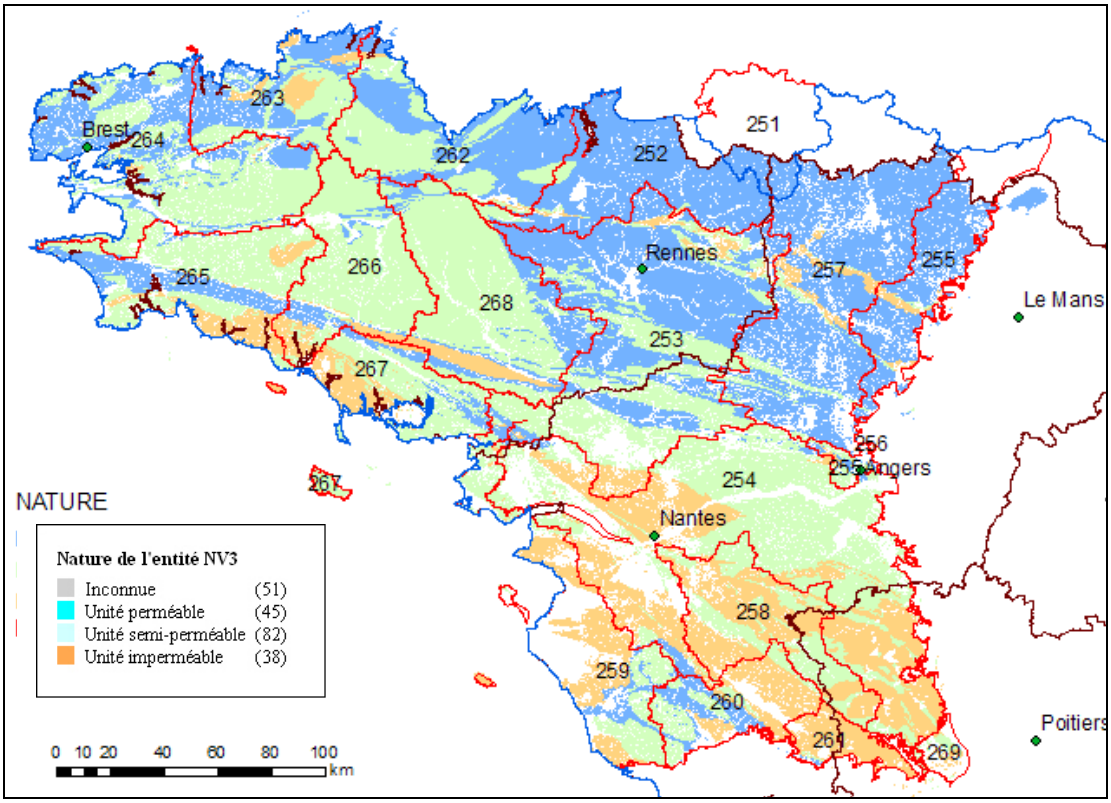


Illustration 23 : Nature des entités de socle de niveau NV3

AIRE_N5	AIRE_N6	AIRE_N7	AIRE_ENTIT	PCent_N5	PCent_N6	PCent_N7
871.4	11.8	7	1125	77.46	1.05	0.63
620.5	135.4	15.2	865.5	71.69	15.64	1.76
2132.3	1113.3	102.4	3942.1	54.09	28.24	2.6
330.4	43.4	44.1	476.4	69.36	9.1	9.26
9.5	1093.9	396.5	2153.4	0.44	50.8	18.41
16.9	381.2	293.8	974.9	1.74	39.1	30.13
67.4	103.8	544.4	1202.1	5.6	8.63	45.29
942.6	32.6	49.5	1799.6	52.38	1.81	2.75
35.8	94	14.6	179.3	19.97	52.43	8.14
162.2	0.5	26	251.6	64.48	0.21	10.34
1482.6	28.6	89.6	2545.4	58.25	1.12	3.52
338.5	1.1	19.2	422.4	80.15	0.27	4.54

t of 99 Selected) Options

Illustration 24 – Caractérisation des entités par un degré de perméabilité

Les colonnes AIRE_N5, AIRE_N6, AIRE_N7, contiennent les superficies en km^2 des terrains considérés respectivement comme "aquifères" (code 5), "semi-perméables" (code 6) et "imperméables" (code 7). Les colonnes PCent_N5, PCent_N6, PCent_N7, contiennent les % correspondants.

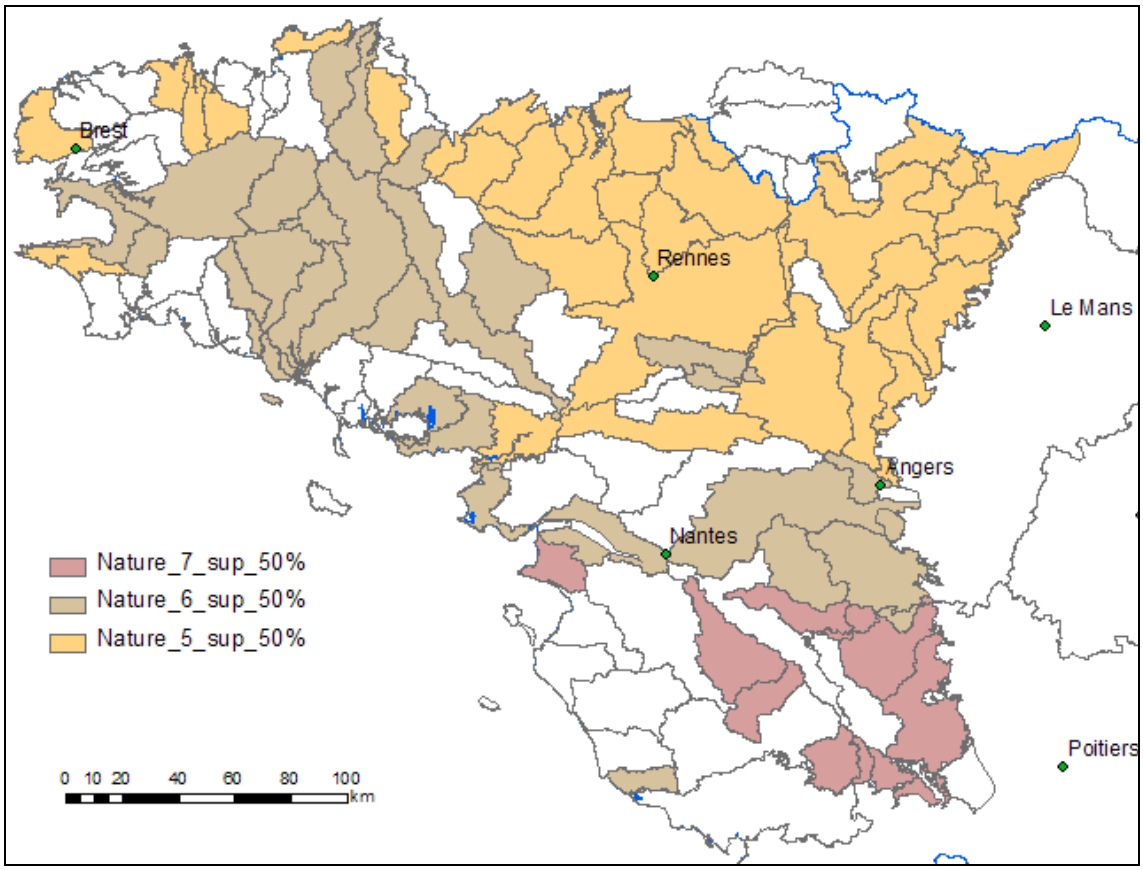


Illustration 25 – Exemple d'exploitation de la table attributaire de l'illustration 24

Sélection des entités ayant plus de 50 % de leur superficie considérée comme aquifère (au sens aquifère de socle), des entités ayant plus de 50 % de leur superficie considérée comme semi-perméable et des entités ayant plus de 50 % de leur superficie considérée comme imperméable.

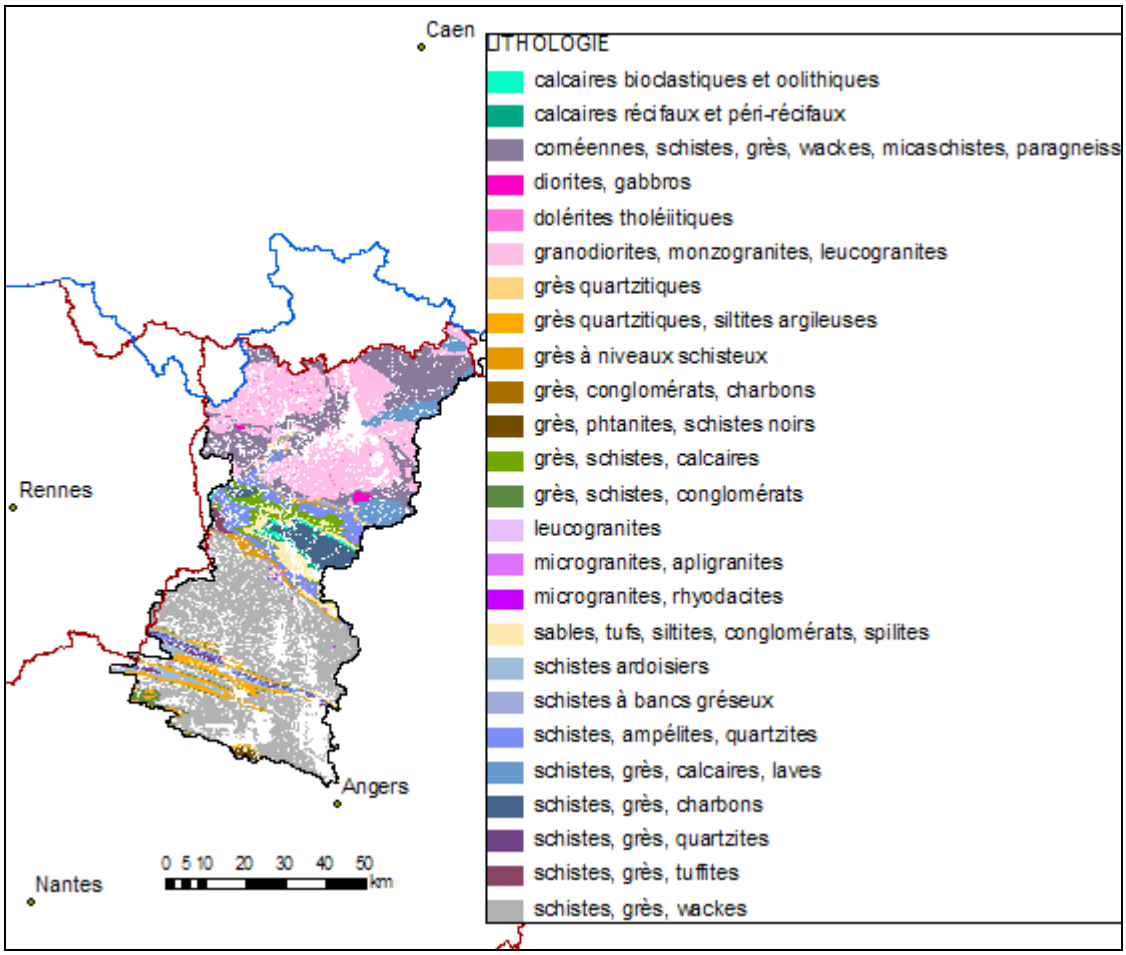


Illustration 26 – Caractérisation d'une entité de socle NV1 (code 257) par la lithologie.

3.5. ENTITÉS HYDROGÉOLGIQUES COMPLÉMENTAIRES

3.5.1. Systèmes alluvionnaires

L'entité complémentaire des alluvions comprend l'ensemble des dépôts de plaine alluviale associés aux terrasses connectées hydrauliquement ou non avec les rivières (illustrations 27 et 28).

Les polygones correspondant à ces dépôts ont été extraits des cartes géologiques harmonisées au 1/50 000 en fonction de leur description, et regroupés en deux entités complémentaires selon leur âge et selon qu'ils étaient connectés ou non au cours d'eau :

	PAYS DE LA LOIRE			BRETAGNE			
	44	53	85	22	29	35	56
	NOTATIONS CARTES GEOLOGIQUES HARMONISEES						
alluvions récentes, basses terrasses, connectées	Fz+FMz+FzD+Fy	Fy+Fz	Fz+Fyb	Fz+Fy	Fz+Fy	Fz+FCz+Fy+Fy1	Fz+Fy
alluvions anciennes, moyennes et hautes terrasses, déconnectées	Fx+Fw	Fx+Fw+Fv	Fxb+Fwb+Fvb+Fva	Fx+Fw	-/-	Fx+Fw+Fv	Fx+Fw+Fp

Illustration 27 : Alluvions fluviatiles des cartes harmonisées en Loire-Atlantique, Mayenne et Vendée, et en région Bretagne

Les terrasses quaternaires sont étagées de part et d'autre des vallées. Elles correspondent à une histoire géologique avec baisse progressive du niveau de base. Les terrasses les plus anciennes (et les plus argileuses) sont les plus hautes topographiquement. Ces terrasses anciennes sont souvent déconnectées des basses terrasses plus récentes par des affleurements du substratum.

Les alluvions fluviatiles anciennes sont assez bien représentées sur le socle : vallée de l'Oudon, de la Mayenne, de la Vilaine, de l'Oust et du Blavet. Elles occupent des surfaces importantes au sein du domaine sédimentaire, dans la vallée de la Loire et des affluents ; elles recouvrent les hautes terrasses de ces cours d'eau.

Leurs ressources en eau sont généralement faibles. Les alluvions sont souvent argileuses (affluents de la Loire) ou les terrasses n'existent plus que sous forme de lambeaux de faible extension.

Les alluvions fluviatiles récentes, des basses terrasses et des fonds de vallées, sont composées de limons et argiles ainsi que de nappes de cailloutis, d'extension et d'épaisseur variables.

3.5.2. Secteurs karstiques connus

Ce niveau thématique rassemble les secteurs au droit desquels des phénomènes karstiques sont connus. Les données exploitées spécifiquement pour la cartographie de cette surcouche sont :

- les indications fournies par M. Claude ROY,
- les cartes IGN au 1/25 000,
- le rapport du CEBTP de recherche de cavités karstiques par géophysique dans le bassin de Saffré (juin 2005),
- les notices des cartes géologiques.

L'illustration 29 précise la localisation de ces secteurs.

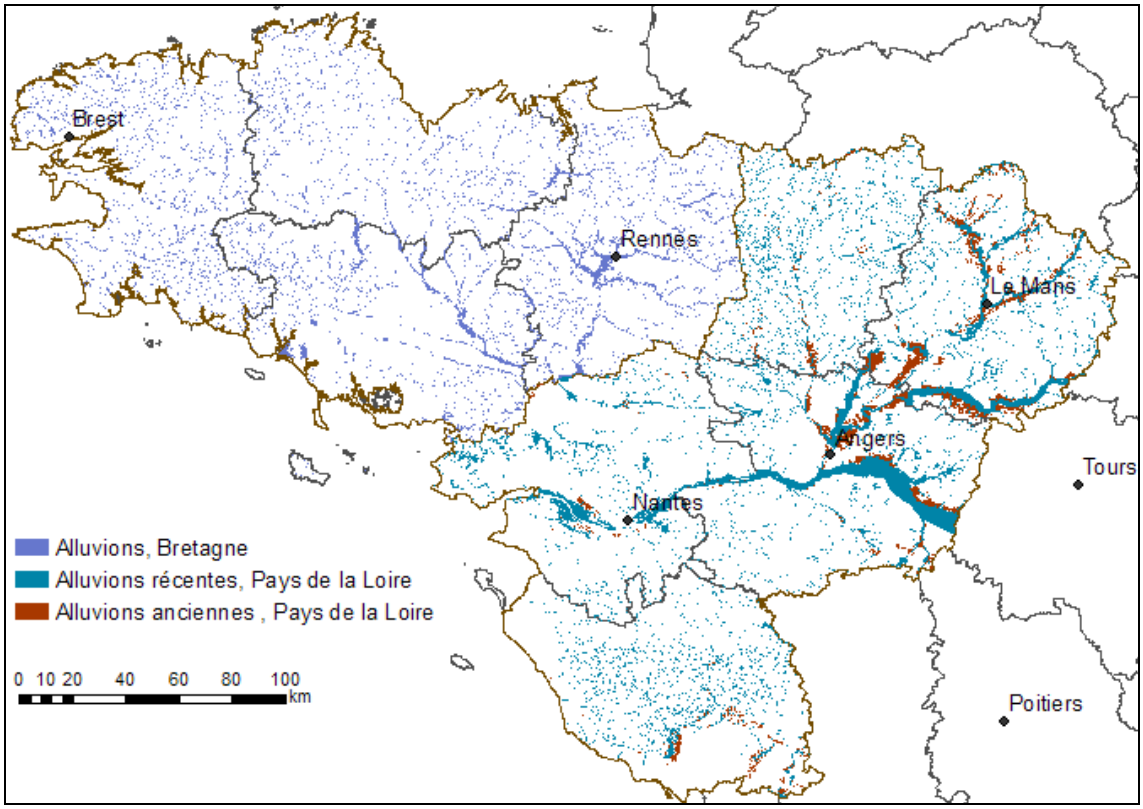


Illustration 28 – Systèmes alluvionnaires

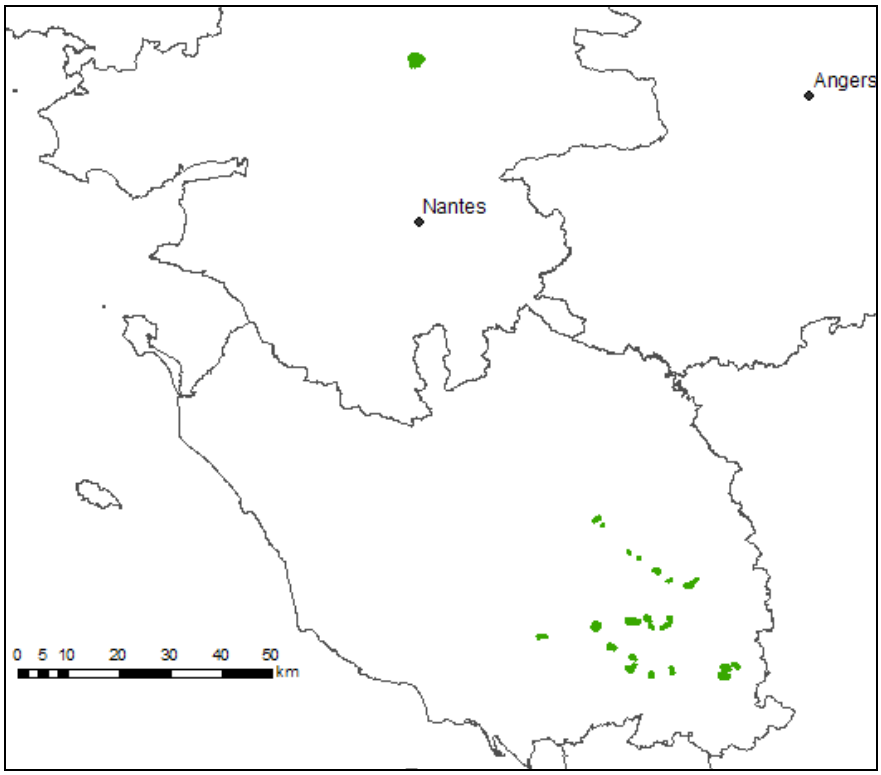


Illustration 29 – Secteurs karstiques identifiés

Les alluvions de la Loire constituent une ressource en eau souterraine majeure en Loire-Atlantique. Dans une moindre mesure, en domaine sédimentaire, les alluvions récentes des affluents de la Loire peuvent également constituer un réservoir notable (niveaux de graviers). En revanche, en domaine de socle, les alluvions sont le plus souvent argileuses.

3.5.3. Altérites en domaine de socle

Dans les socles anciens comme le Massif armoricain, les roches, généralement métamorphiques ou intrusives, sont massives et peu perméables. La présence éventuelle d'eau souterraine dépend des modifications physiques subies par ces massifs rocheux postérieurement à leur formation, et notamment de la fracturation et de l'altération.
L'altération météorique a eu pour effet de développer une couverture meuble plus ou moins poreuse en fonction de la minéralogie de la roche mère, et, sous cette couverture meuble, une fissuration intense permettant le drainage des formations meubles sus-jacentes.
Les manteaux d'altération épais (plusieurs dizaines de mètres) ont été élaborés lors de longues périodes d'émersion sous des climats chauds et humides analogues aux climats de la zone intertropicale actuelle. Les périodes les plus favorables ont été le Crétacé inférieur ainsi que le début du Tertiaire (Paléocène à Eocène supérieur).
Un nouveau modèle conceptuel des propriétés physiques des roches en différents contextes de socle altéré a été élaboré ces dernières années, dans le cadre de projets de Recherche du BRGM. Il est représenté de manière schématique sur l'Illustration 30.

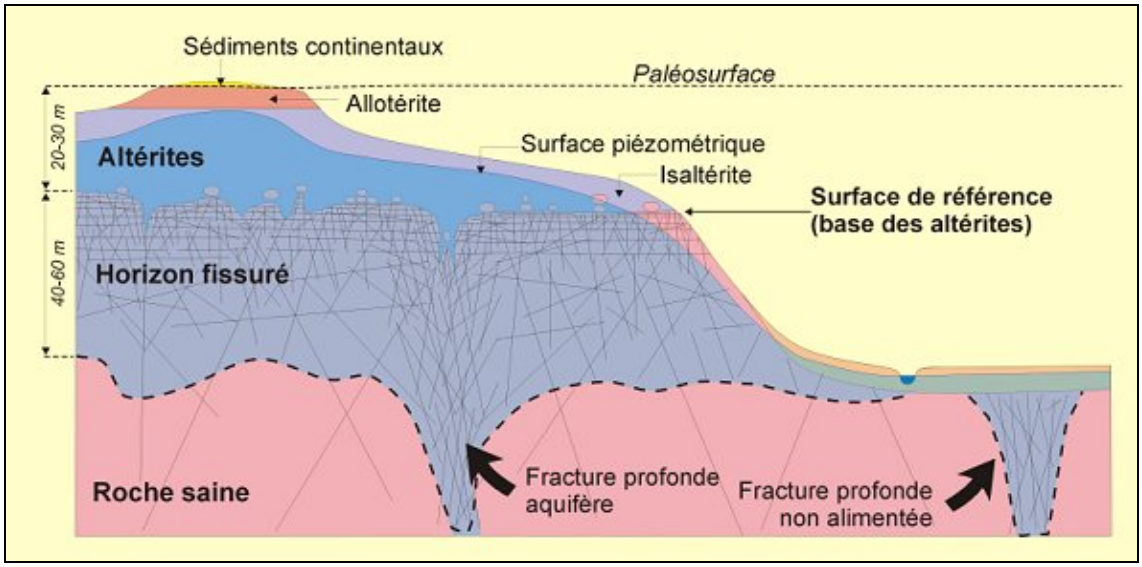


Illustration 30 : Schéma conceptuel des aquifères de socle (R. Wyns et al., 2004)

Un profil d'altération type comprend ainsi, de haut en bas, les horizons suivants :

- allotérites (quelques mètres à une dizaine de mètres) : altérite caractérisée par une réduction de volume par rapport à la roche mère initiale ; la texture de la roche mère n'est pas préservée. En contexte schisteux, il s'agit d'une argile imperméable ; en contexte granitique, il s'agit d'une arène argileuse à faible perméabilité et faible porosité efficace ;
- isaltérites (plusieurs dizaines de mètres) : altérite isovolumique où la texture de la roche initiale est préservée. Les éléments chimiques évacués par dissolution sont remplacés par des vides. Il en résulte une porosité importante, permettant à cet

horizon de jouer un rôle capacitif vis-à-vis des eaux d'infiltration. En contexte schisteux, cet horizon, à dominante silto-argileuse, est faiblement perméable bien que très poreux. En contexte granitique, il correspond à une arène sableuse beaucoup plus perméable ;

- zone fissurée (40 à 70 m) : cet horizon, situé dans la partie supérieure du substratum, est caractérisé par une très forte fissuration dont l'intensité décroît vers le bas. Cette fissuration résulte de l'éclatement de la roche sous l'effet des contraintes générées par les changements de phase minéralogique, principalement l'hydratation de la biotite, qui se transforme avec augmentation de volume en chlorite, puis vermiculite, avant d'évoluer vers des minéraux argileux.

Au niveau des entités de socle, un recouvrement peut donc exister : quand elles existent, les altérites sont situées au-dessus de l'horizon fissuré des roches de socle (ces deux couches sont potentiellement aquifères, cf. Illustration 30).

Comme ces altérites n'ont été levées que sur certaines cartes géologiques et sur la base de connaissances anciennes hétérogènes (cf. annexe 1), ces formations ne peuvent faire l'objet d'un traitement abouti notamment au niveau NV3.

Les altérites ont fait l'objet de levés détaillés à l'échelle 1/50 000 (sans distinction allotérites et isaltérites) lors de plusieurs études hydrogéologiques menées en Bretagne par le BRGM entre 1998 et 2008[4] (voir bibliographie, annexe 1 et Illustration 31)

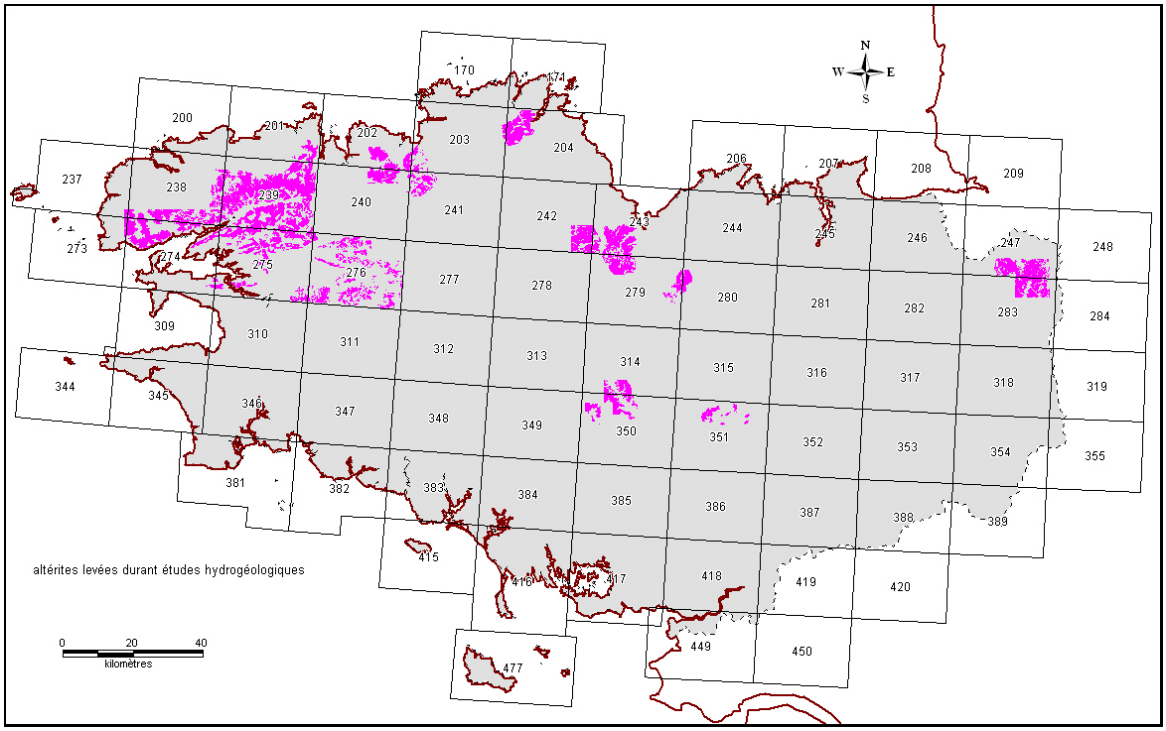


Illustration 31 : Cartographie des altérites sur les départements bretons, à partir des informations des études hydrogéologiques (les numéros correspondent aux coupures des cartes géologiques à 1/50 000 du BRGM)

[4] Etudes hydrogéologiques sur les secteurs : Rade de Brest (29), Yar (22), Horn (29), Coët-Dan (56), Dourduff (29), Oust (56), Yvel (56), Maudouve et Noë Sèche (22), Nançon (35), Echelles (35), Gouessant (22), Urne (22), et Bizien (22) (cf. liste en bibliographie)

Les altérites présentent un intérêt non négligeable sur le plan hydrogéologique en domaine de socle. L'amélioration de la connaissance de ces formations (lever homogène à l'échelle départementale) permettrait de compléter la BD LISA mais aussi de mieux appréhender les ressources en eau souterraine de socle.

3.5.4. Formations sédimentaires de Bretagne

Sur les 10 formations sédimentaires d'âge tertiaire identifiées en Bretagne, 7 ont été considérées comme entités complémentaires, listées dans le tableau ci-dessous (cf aussi illustration 32).

Code	Nom de l'Entité
010B1	Argiles-sableuses du Tertiaire indifférencié (Landujan (Ille-et-Vilaine) et Finistère) Entité semi-perméable
010B2	Argiles du Pliocène (Ille-et-Vilaine et Morbihan) Entité imperméable
010B3	Argiles du Miocène supérieur (Chasné-sur-Illet (Ille-et-Vilaine)) Entité imperméable
010B5	Argiles de l'Oligocène inférieur (St-Jacut-du-Méné (Côtes-d'Armor) et Loutehel (Ille-et-Vilaine)) Entité imperméable
010B6	Sables, galets, argiles, calcaires, marnes de l'Oligocène inférieur (Crozon, Guilers, Aber-Ildut (Finistère) et Chartres-de-Bretagne Bruz, Langon, Les Brulais, Pipriac (La Cohiais) (Ille-et-Vilaine)) Entité aquifère
010B7	Sables et argiles de l'Eocène moyen (Penvénan (Côtes-d'Armor)) Entité semi-perméable
010B8	Sables-argileux de l'Eocène inférieur (Port-Louis Lorient (Morbihan) et Chartres-de-Bretagne Bruz, Pont-Péan, Grand-Fougeray, Teillay (Ille-et-Vilaine)) Entité semi-perméable

Trois autres entités, plus importantes et en correspondance avec des formations similaires en Pays de la Loire, ont été rattachées aux entités principales codées, 104B03, 104C01 et 11G03 :

104B03	Galets, cailloutis, sables, faluns et argiles du Pliocène (Mohon, Radenac (Morbihan) et Argentré-du-Plessis, Lassy, Theil-de-Bretagne, Pipriac (Le Meneu), Rannée La Guerche-de-Bretagne, Retiers, St-Malo-de-Phily, St-Séglien (Ille-et-Vilaine)) Entité aquifère
104C01	Faluns du Miocène moyen (Le Quiou-Tréfumel (Côtes-d'Armor) et Chartres-de-Bretagne Bruz, St-Grégoire, Dingé, Feins, Lohéac, St-Sauveur-des-Landes, Coësmes, Gahard, Guipel, Landujan, St-Aubin-d'Aubigné (Ille-et-Vilaine)) Entité aquifère
113G03	Argiles-sableuses de l'Eocène supérieur (Quimper Toulven (Finistère) et Landéan, Chartres-de-Bretagne Bruz, Pipriac (Bouëssic), Pipriac (La Cohiais) (Ille-et-Vilaine)) Entité imperméable

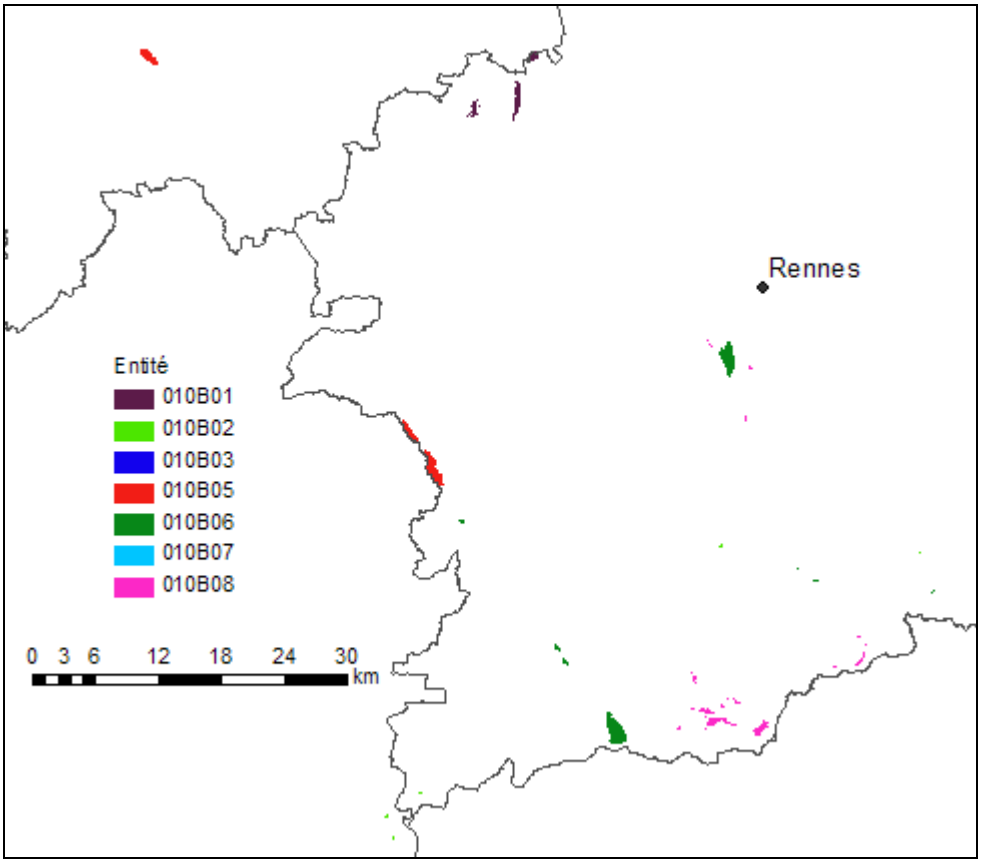
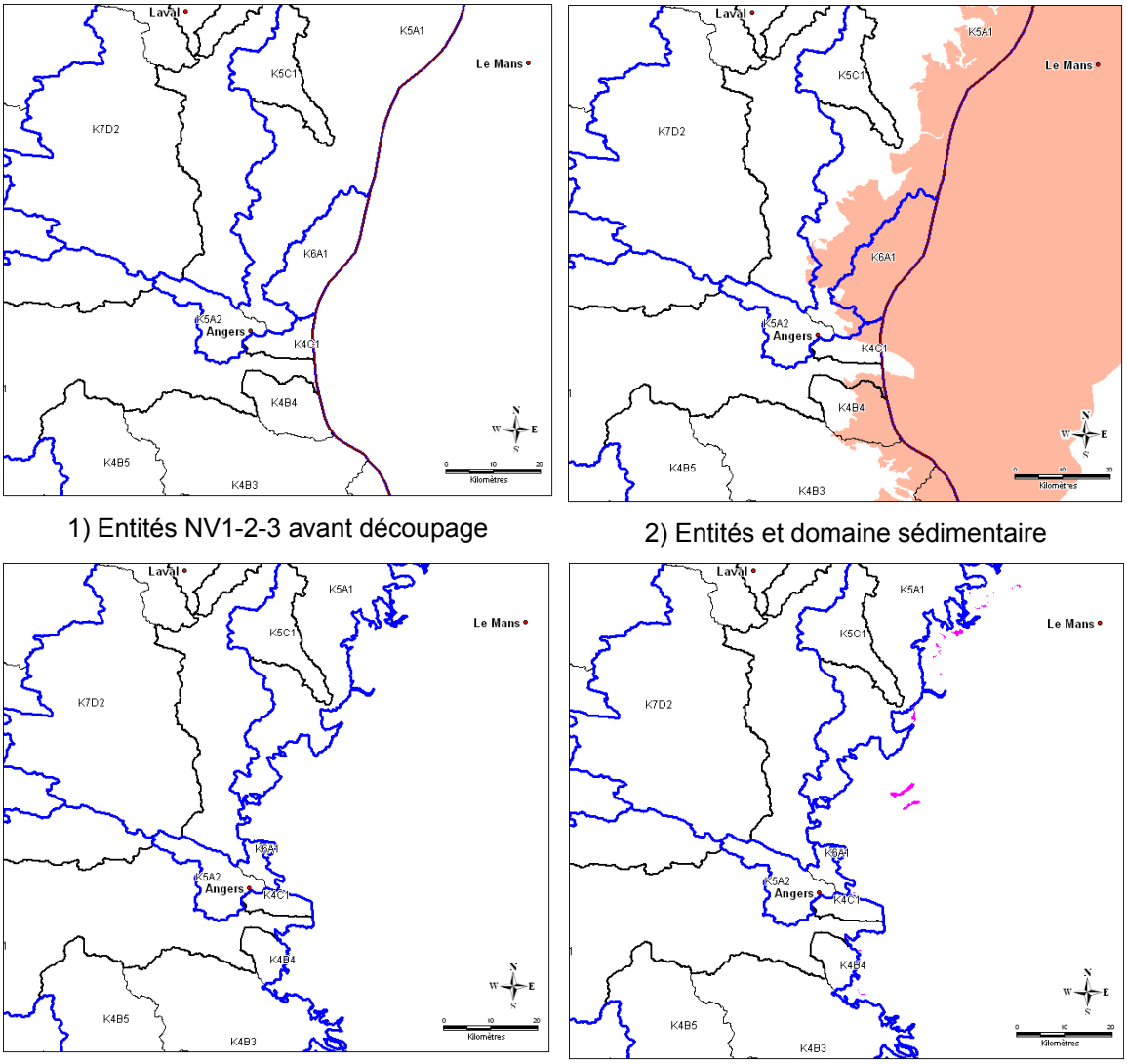


Illustration 32 – Entités complémentaires du thème "sédimentaire" en Bretagne (région de Rennes)

3.5.5. "Pointements" de socle

Il a été précisé au chapitre 3.4.4.3. que les entités de socle de niveau 1, 2 et 3 (bassins versants) avaient été découpées selon le contact géologique zone de socle – domaine sédimentaire. La partie des bassins versants située en domaine sédimentaire a été ôtée ; cela permet de finaliser les entités NV1-NV2-NV3 et d'isoler les "pointements" de socle dans le sédimentaire (illustration 33). Ces "pointements" sont intégrés dans la surcouche du référentiel (en tant qu'entités complémentaires).



1) Entités NV1-2-3 avant découpage

2) Entités et domaine sédimentaire

3) Entités NV1-2-3 après découpage

4) Dissociation des pointements de socle situés dans le domaine sédimentaire (en rose)

Illustration 33 : Etapes de la finalisation des entités de socle NV1-2-3 du Massif Armoricain (zoom sur la jonction des départements Sarthe, Maine-et-Loire et Mayenne)

4. Résultats: géodatabase et fiches d'analyse

4.1. GÉODATABASE

Il s'agit d'une géodatabase ArcGis (version 9.31) dont la structure est décrite en détail en annexe 3. Elle contient 3 "*Jeux de classes d'entités*" (dans le langage ArcGis), appelées (illustration 34):

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

Dans " GEOMETRIE", on trouve la table des polygones représentant les entités (**RHF_Polygones_relatifs** et la table des polylignes (**RHF_Limites)** représentant les limites des entités d'ordre 1 (illustration 34).

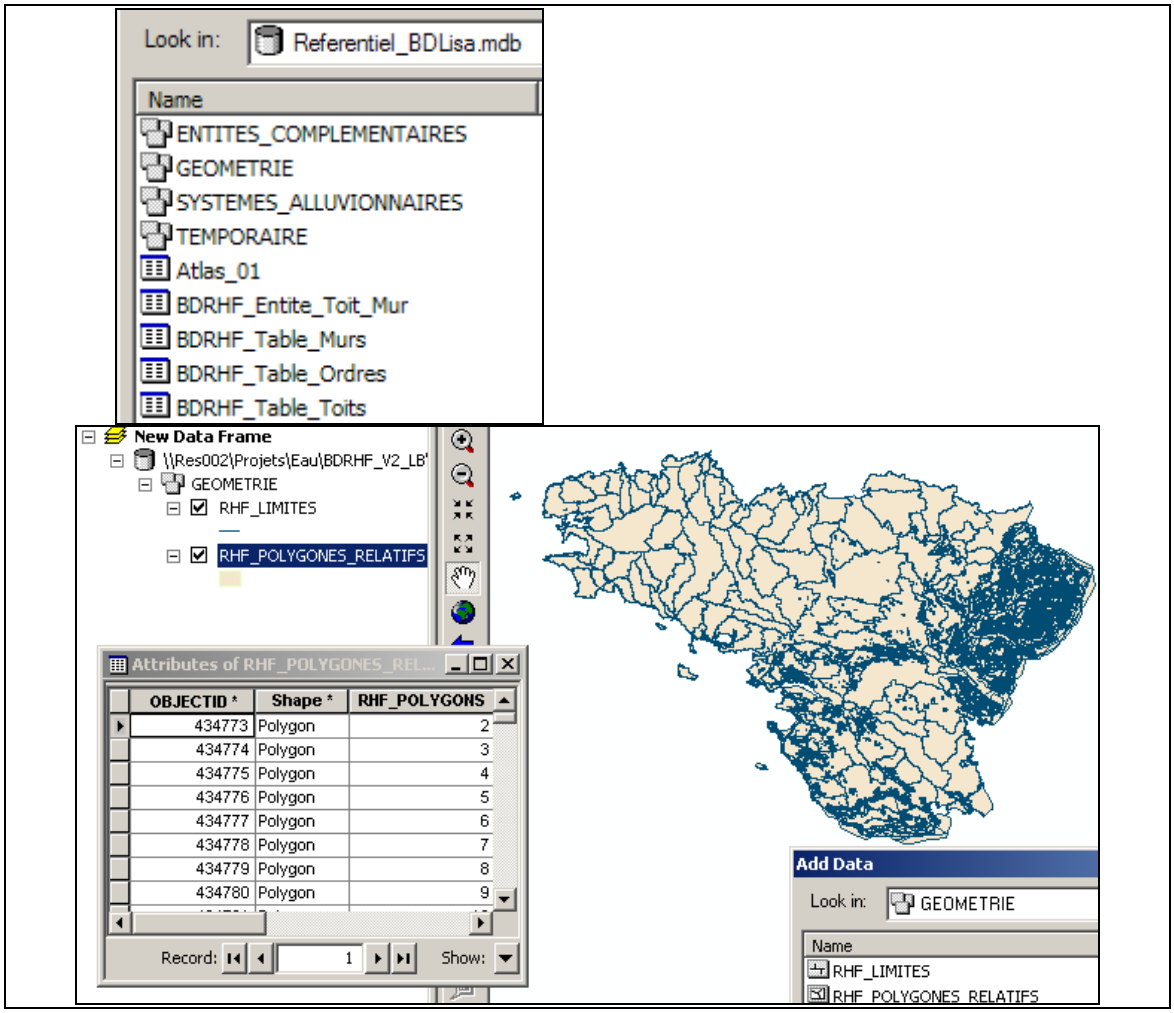


Illustration 34 : Accès à la géodatabase du référentiel par ArcMap

La géodatabase contient aussi d'autres tables, sans géométrie associée (BDRHF_Table_Murs, BDRHF_Table_Toits, BDRHF_Table_Ordres,…illustration 35). Ces tables sont décrites en annexe 3.

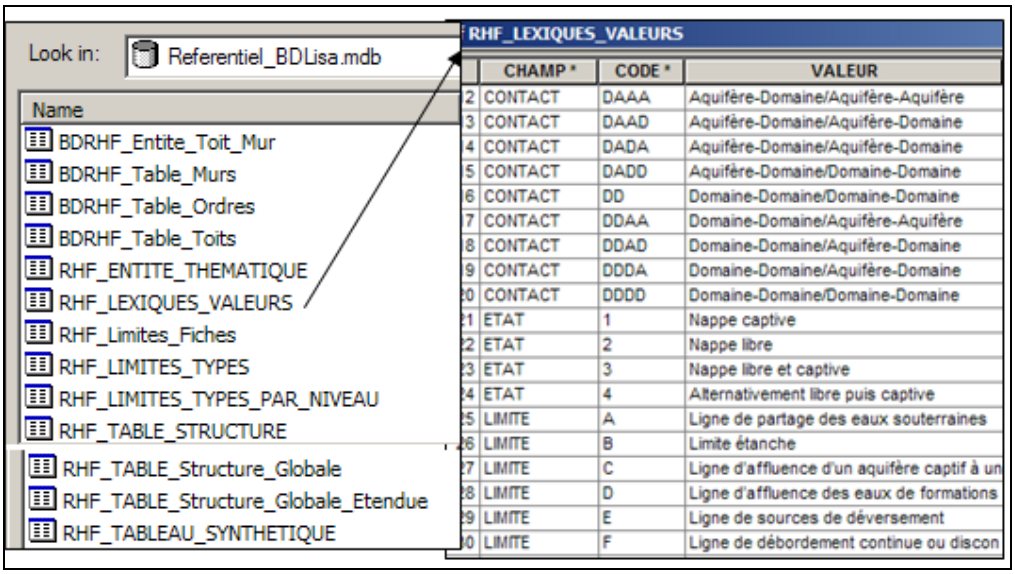


Illustration 35 : Tables non géométriques de la géodatabase

La structure de la géodatabase est conforme à celle d'un Système de Gestion de Base de Données Relationnelle (SGBDR). Son exploitation est facilitée par une boîte à outils pilotée par un menu général (illustration 36).

Illustration 36 : Menu général de la géodatabase
L'icône BDLISA en haut à gauche permet d'appeler le menu

L'illustration 37 présente un exemple de sélection d'entité (125A03, "*Marnes et Argiles glauconieuses à minerai de fer de l'Albien au Cénomanien inf.*") effectuée à partir du menu ci-dessus (illustration 36 ci-dessus, "*Représenter l'entité par son emprise*").

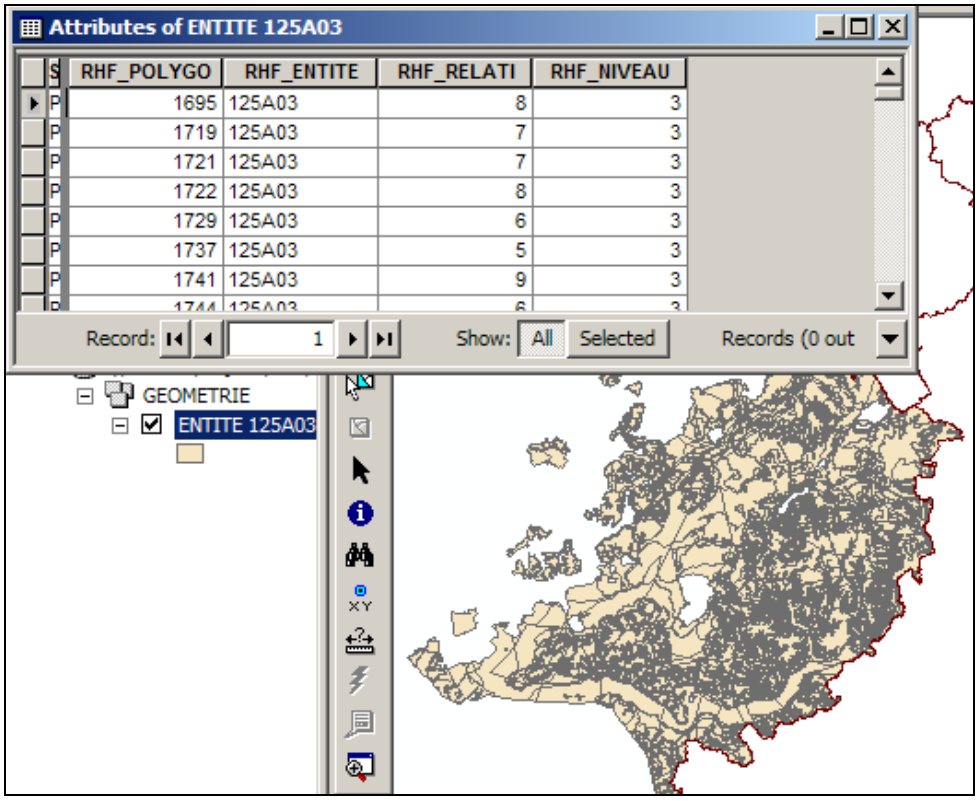
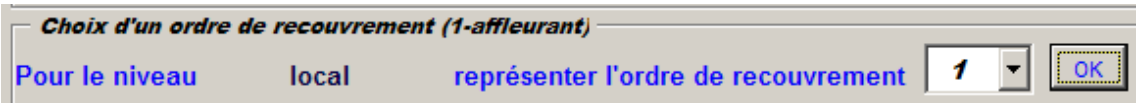


Illustration 37 : Exemple de sélection d'une entité de niveau 3 via le menu général

La table attributaire correspondante contient le numéro d'ordre relatif de chaque polygone constitutif de l'entité, ce qui permet de représenter celle-ci en affectant une couleur à chaque numéro d'ordre et de connaître ainsi le nombre d'entités situées au dessus d'elle, des affleurements jusqu'à sa limite d'extension en profondeur (illustration 38, avec l'entité 125A03).

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



L'illustration 39 présente une vue des entités de niveau 2 et d'ordre 1 (une couleur est affectée à chaque entité).

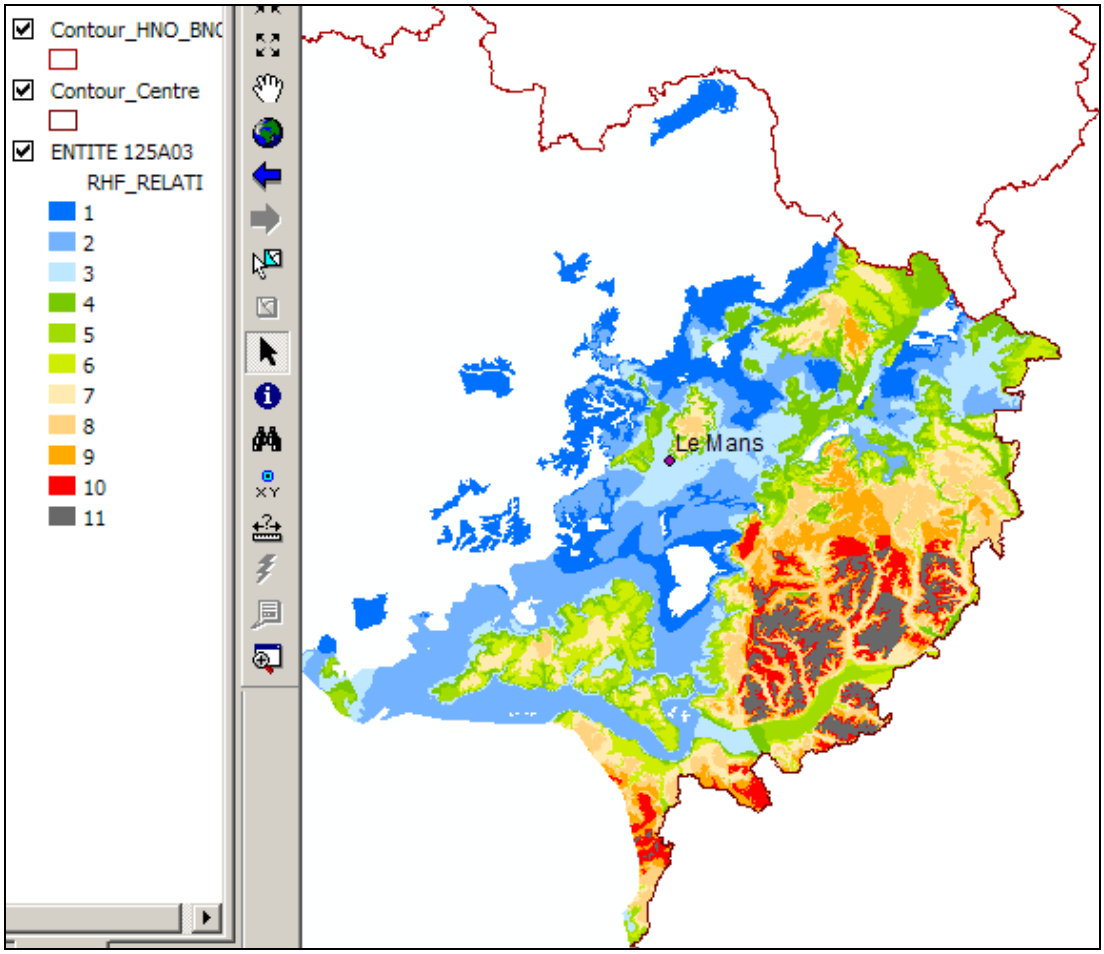


Illustration 38 : Cartographie d'une entité de niveau 3 avec ses ordres de recouvrement (ordres relatifs)

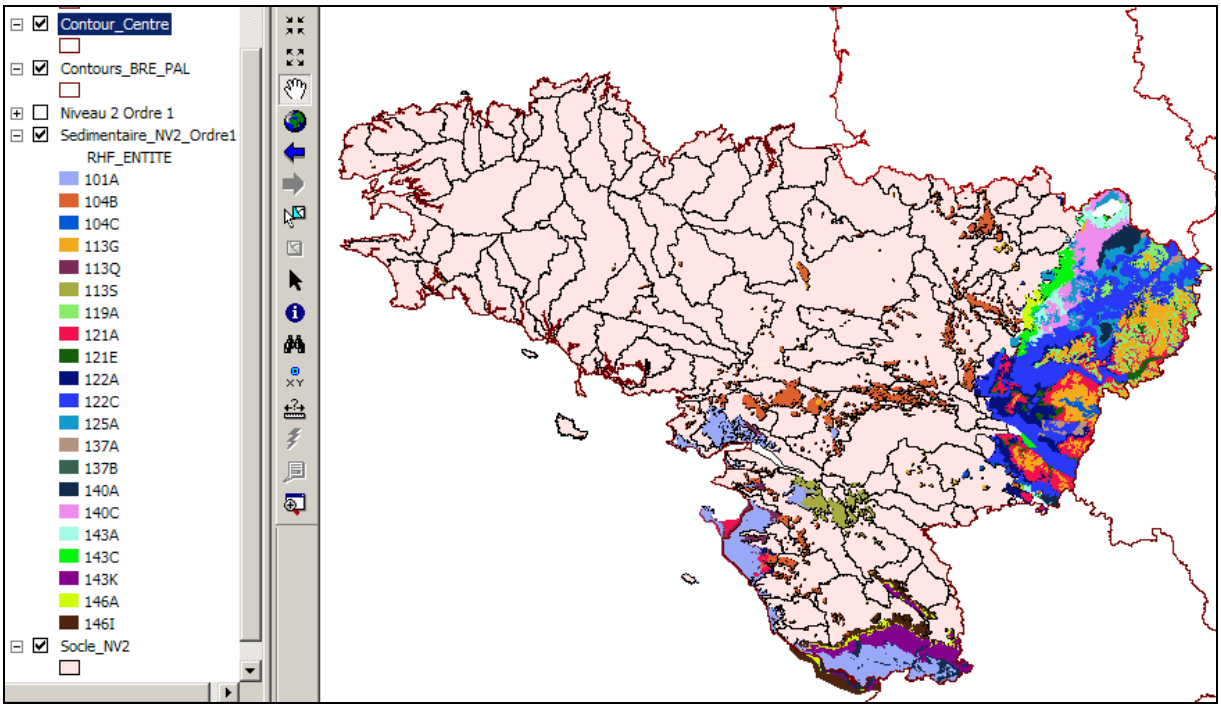
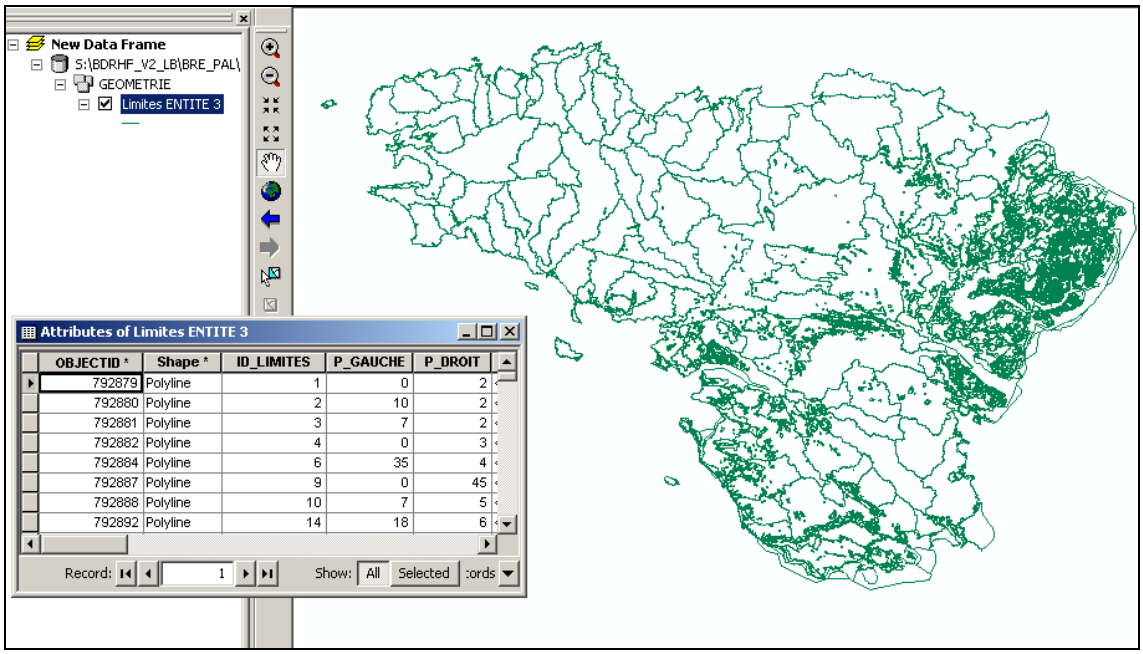


Illustration 39 : Exemple de sélection: entités de niveau 2 et d'ordre 1

Limites et table des limites

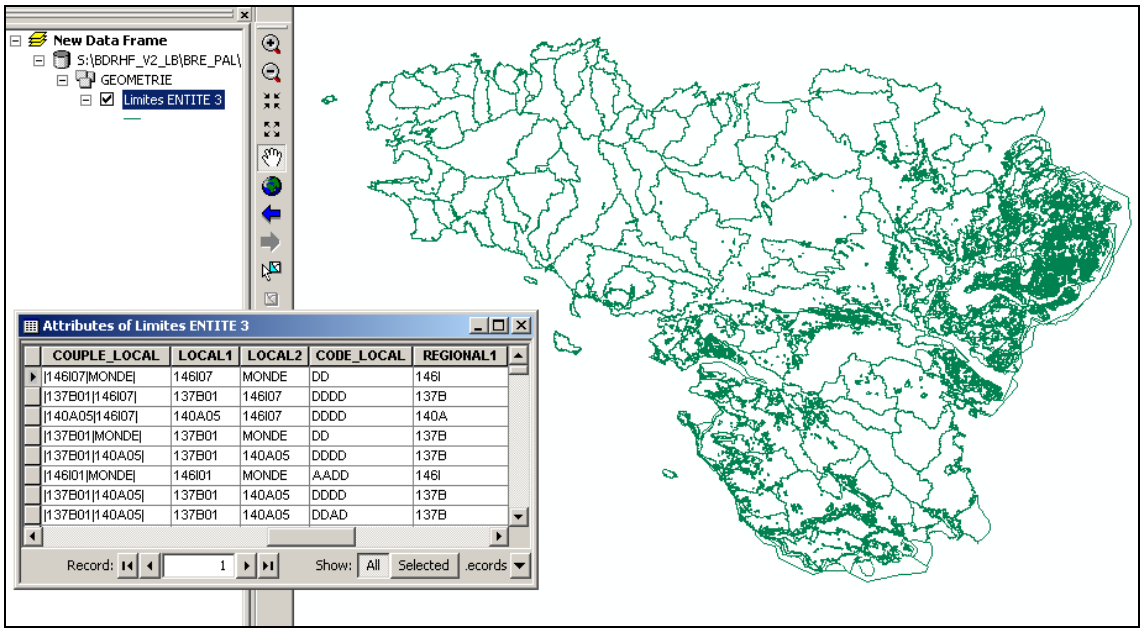
Elles sont aussi accessibles par le menu général. La table des limites contient l'identifiant des limites (champ ID_LIMITES) et l'identification des polygones situés de part et d'autre d'une limite (champs P_GAUCHE et P_DROIT).



OBJECTID *	Shape *	ID_LIMITES	P_GAUCHE	P_DROIT
792879	Polyline	1	0	2
792880	Polyline	2	10	2
792881	Polyline	3	7	2
792882	Polyline	4	0	3
792884	Polyline	6	35	4
792887	Polyline	9	0	45
792888	Polyline	10	7	5
792892	Polyline	14	18	6

Illustration 40 : Table des limites.

Cette table contient aussi la nature des contacts entre entités (illustration 41).



COUPLE_LOCAL	LOCAL1	LOCAL2	CODE_LOCAL	REGIONAL1
|146I07|MONDE|	146I07	MONDE	DD	146I
|137B01|146I07|	137B01	146I07	DDDD	137B
|140A05|146I07|	140A05	146I07	DDDD	140A
|137B01|MONDE|	137B01	MONDE	DD	137B
|137B01|140A05|	137B01	140A05	DDDD	137B
|146I01|MONDE|	146I01	MONDE	AADD	146I
|137B01|140A05|	137B01	140A05	DDDD	137B
|137B01|140A05|	137B01	140A05	DDAD	137B

Illustration 41 : Table des natures de contacts entre entités

4.2. FICHES D'ANALYSE DES ENTITÉS

Le modèle de gestion permet d'éditer automatiquement (illustration 42) pour chaque entité une fiche au format pdf permettant d'analyser les "relations" de l'entité avec ses voisines et de vérifier la cohérence de l'assemblage 3D effectué par le modèle de gestion.

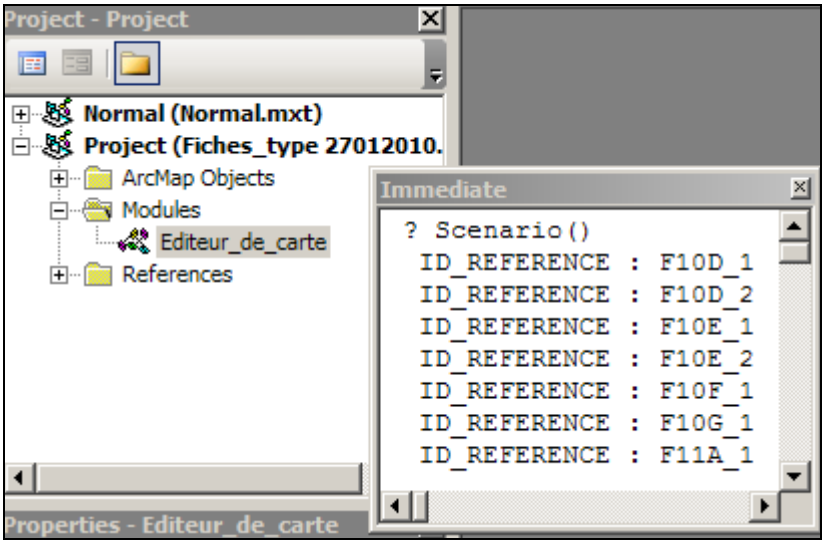


Illustration 42 : Editeur de cartes du modèle de gestion du référentiel

Une fiche d'analyse est constituée de plusieurs blocs d'informations. Les illustrations 43 et 44 fournissent un exemple pour une entité de niveau 3 ("*Sables verts de l'Albien inf.*", F8HIM_1).

• Sur la partie gauche de la fiche (illustration 43), l'entité est représentée par une gamme de couleurs qui permet de la repérer verticalement dans la succession des couches qui la recouvrent, chaque couleur correspondant à un ordre de recouvrement.

• La carte de la partie droite de la fiche (illustration 44) représente l'emprise de l'entité de niveau 2 (et celle de niveau 1) à laquelle appartient l'entité de niveau 3

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

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

• Les blocs intitulés "*Toit*" et "*Mur*" listent les entités situées directement au dessus de l'entité considérée (les "toits") ainsi que les entités situées directement au dessous (les "murs"), avec en vis-à-vis les superficies des entités constituant ces toits et murs.

• Le bloc intitulé " *Limites affleurantes de long. >1 km*" fournit la liste des entités mitoyennes de l'entité considérée (à l'ordre 1), la nature des contacts (cf § 2.4.2 et annexe 3) et la longueur (en km) de chaque tronçon de limite partagée.

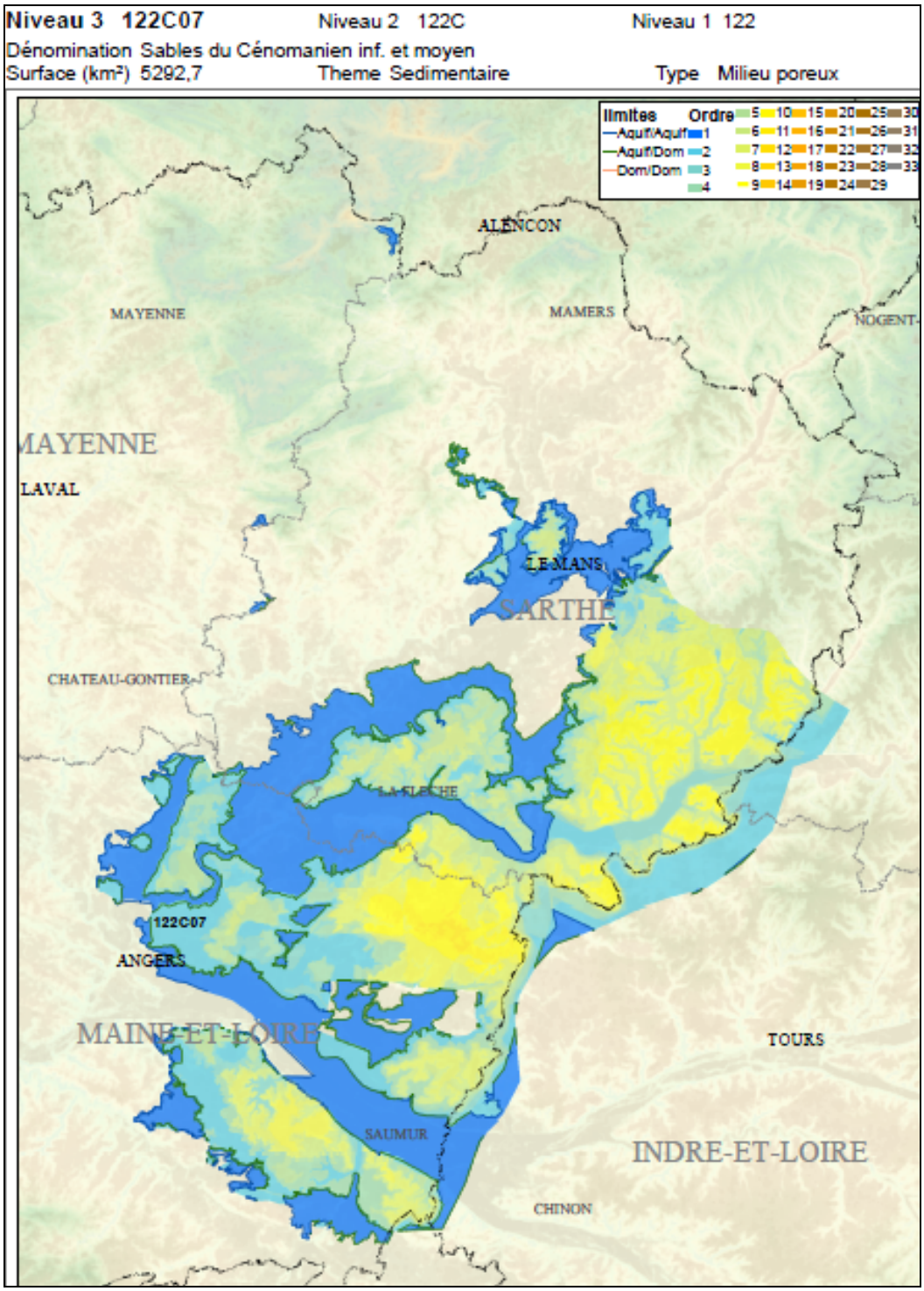
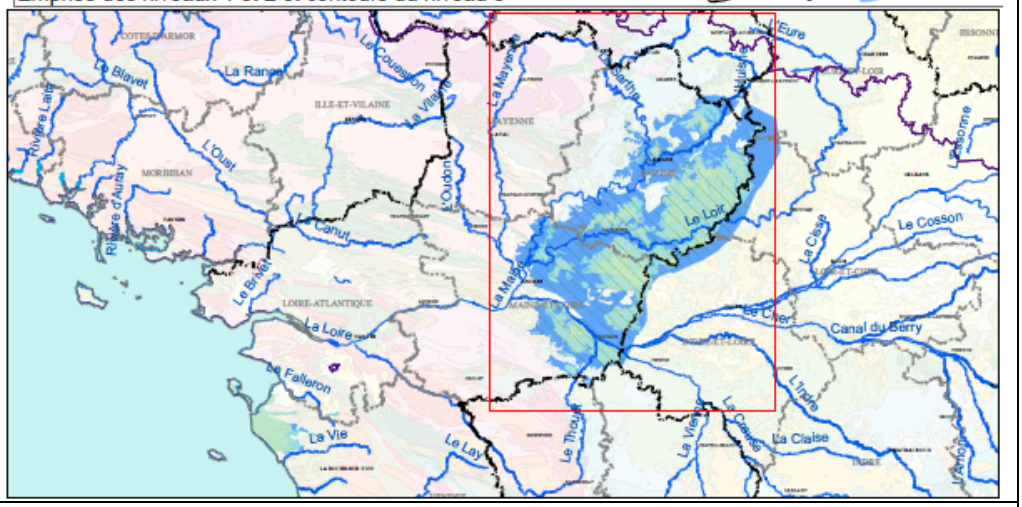


Illustration 43 : Exemple de fiche d'analyse d'une entité (partie gauche)

Ordre	Part%
1	30,99%
2	17,06%
3	6,18%
4	8,17%
5	8,24%
6	8,46%
7	8,29%
8	6,06%
9	5,80%
10	0,56%
11	0,19%

Emprise des niveaux 1 et 2 et contours du niveau 3

Niveau régional 2 Niveau national 1



Toit	Part %	Nom
	30,99%	
104B03	0,04%	Sables du Pliocène de Bretagne et Pays-de-la-Loire
104C01	0,17%	Faluns du Miocène moyen du Maine-et-Loire
104C03	0,06%	Formations du Miocène inférieur (faciès laguno-marin) du Maine-et-Loir
113G07	0,02%	Argiles sableuses du Lutétien
119A03	0,02%	Sables argileux à silex du Paléocène issues de l'altération du Séno-Tu
121A01	0,06%	Sables du Sénonien du Maine-et-Loire et de la Sarthe
121A07	0,19%	Sables glauconieux et faluns de Contivoir du Turonien sup.
121A09	0,14%	Craie Tuffeau d'Anjou et de Touraine du Cénomanien sup. sommital auTur
121E01	0,21%	Craies marneuses à Inocerames du Cénomanien sup. au Turonien inf.
122A03	0,27%	Sables de Bousse et Sables et Grès à Catopygus du Cénomanien sup.
122A05	42,18%	Marnes à Ostracées du Cénomanien sup.
122C01	25,65%	Sables glauconieux du Perche du Cénomanien sup.

Mur	Part %	Nom
	14,37%	
122C09	24,34%	Sables de Lamnay et de la Trugalle du Cénomanien inf.
125A03	27,91%	Marnes et Argiles glauconieuses à minerai de fer de l'Albien au Cénoma
137A03	0,10%	Calcaires coralliens de l'Oxfordien moyen
137A05	13,34%	Marnes bleues à Encrines de l'Oxfordien moyen à l'Oxfordien sup. du Su
140A01	7,60%	Marnes à Spongiaires (Callovien à Oxfordien moyen)
140A03	0,17%	Marnes à Pernes et des marnes sableuses de la Vacherie et de la Burais
140C07	0,12%	Calcaires marneux à brachiopodes du Callovien inf.
143A03	0,14%	Calcaires noduleux à silex du Bajocien-Bathonien
143A05	0,09%	Oolithes ferrugineuses et du calcaire à Montlivaultia du Bathonien sup
143C01	10,85%	Calcaires graveleux de la champagne, de Conlie de l'Aalénien moyen au
146A01	0,58%	Calcaires marneux de l'Aalénien-Toarcien
146I03	0,28%	Grès du Pliensbachien
254A01	0,00%	La Loire de la Vienne (nc) à la mer (bassin versant en aval du contact
254B03	0,00%	Le Layon de sa source à la Loire (nc), l'Hyrôme (bassin versant en amo
254B04	0,00%	L'Aubance & ses affluents (bassin versant en amont du contact socle-sé
255A01	0,10%	La Sarthe de sa source à la Maine (nc), la Bienne, la Vègre, l'Erve (b

Limites affleurantes de long > 1km

Contact	Type	Long (km)
|104B03|122C07|	AA	5706
|104C01|122C07|	AA	8261
|104C03|122C07|	AD	11245
|113G01|122C07|	AA	244
|113G07|122C07|	AD	5937
|119A01|122C07|	AD	1854
|119A03|122C07|	AD	7252
|121A01|122C07|	AD	18903
|121A07|122C07|	AA	15715
|121A09|122C07|	AA	38469
|121E01|122C07|	AD	37122
|122A03|122C07|	AA	39945
|122A05|122C07|	AD	636170
|122C01|122C07|	AA	186870
|122C05|122C07|	AD	1481
|122C07|122C07|		319379
|122C07|122C07|	AA	19541
|122C07|122C07|	AD	74667
|122C07|122C07|	DA	15157
|122C07|122C07|	DD	138092
|122C07|122C09|	AA	148635
|122C07|125A03|	DA	138707
|122C07|137A05|	DA	77079
|122C07|140A01|	DA	43002
|122C07|140A03|	DA	4988
|122C07|140C01|	DA	100
|122C07|140C03|	DA	41
|122C07|140C07|	DA	16328
|122C07|143A03|	AA	13284
|122C07|143A05|	AA	21742
|122C07|143C01|	AA	48470
|122C07|146A01|	DA	5386
|122C07|146I03|	DA	4907
|122C07|254A01|	AA	11788
|122C07|254B03|	AA	37233
|122C07|254B04|	AA	19046
|122C07|254C01|	AA	6858
|122C07|255A01|	AA	84673
|122C07|256A01|	AA	6141
|122C07|257A01|	AA	11595
|122C07|MONDE|	AA	26443

Illustration 44 : Exemple de fiche descriptive (partie droite) d'une entité

5. Caractérisation des entités hydrogéologiques

5.1. APERÇU GÉOLOGIQUE

Tronçon affleurant de la chaîne varisque qui a été érigée au cours du Paléozoïque, il y a 300 millions d'années, le Massif Armoricain est organisé en deux blocs structuraux majeurs : les blocs nord et sud-armoricains. Ces derniers sont séparés par le cisaillement sud-armoricain qui prend en écharpe la région d'ouest en est, depuis la Roche-Bernard jusqu'au sud de Cholet en passant par Nantes.

Depuis son évolution ancienne, le massif est resté à l'écart des grandes zones de tectonique active telles la collision alpine ou l'ouverture de l'Atlantique et n'a donc subi que des influences mineures. De ce fait et suite à une intense érosion, une couverture sédimentaire constituée de carbonates de plate-forme, de marnes et de sables d'âge secondaire et tertiaire s'est déposée sur ses marges, en liaison avec le développement des grands bassins marins (le bassin de Paris à l'est et le bassin d'Aquitaine au sud).

Les ajustements tectoniques, associés à la mise en place des Alpes, ont initié au sein même du Massif Armoricain, de nombreux petits bassins tertiaires. Les plus connus sont ceux de Campbon, Nort-sur-Erdre et Saffré dans le Pays nantais et ceux de Chéméré, Challans et Machecoul en Vendée.

Les roches magmatiques et métamorphiques qui constituent l'essentiel du Massif Armoricain sont globalement peu favorables aux circulations aquifères importantes. Une étude réalisée en 1999 sur les formations de socle de Vendée a en effet montré que le pourcentage de forages dont le débit était supérieur ou égal à 10 m^3/h variait de 3 à 33 % en fonction de la lithologie. Le débit moyen des 25 % des meilleurs forages situés dans les formations les plus productives ne dépasse pas quant à lui 40 m^3/h.

Dans les terrains de socle, la productivité des aquifères est en fait étroitement liée à la présence d'altérites et au degré de fracturation des niveaux sous-jacents. Les altérites qui se caractérisent par une forte porosité et une faible perméabilité constituent un réservoir qui alimente l'horizon fissuré par drainance. Ce dernier est généralement beaucoup plus perméable en raison de l'interconnexion des fissures qui favorise la circulation des eaux souterraines. C'est dans la partie supérieure de cet horizon que les venues d'eau sont les plus importantes.

Les potentialités aquifères des formations sédimentaires anciennes de socle, des formations sédimentaires de couverture (bassins de Paris et d'Aquitaine) et des bassins tertiaires sont quant à elles beaucoup plus importantes.

Dans le bassin de Laval par exemple, les calcaires du Dévonien et du Carbonifère sont sollicités par de nombreux ouvrages dont le débit peut atteindre une centaine de m^3/h.

En Vendée, les terrains sédimentaires de couverture recèlent aussi d'importantes ressources en eau. A Noirmoutier et dans le Marais Breton, la nappe d'eau salée contenue dans les calcaires lutétiens et les sables cuisiens (Eocène) et utilisée pour l'aquaculture est sollicitée par des ouvrages peu profonds (10 à 15 m) dont le débit est compris entre 50 et 200 m^3/h. Plus au sud dans la plaine de Luçon, les calcaires du Dogger et du Lias (Jurassique) font l'objet de prélèvements importants, en particulier pour l'irrigation.

Au niveau des bassins tertiaires, la porosité et la perméabilité des formations éocènes (formations carbonatées plus ou moins détritiques), oligocènes (calcaires et marno-calcaires) et pliocènes (sables et graviers) autorisent des prélèvements de l'ordre de 200 m^3/h mais confèrent une grande vulnérabilité aux aquifères.

Les alluvions des grands cours d'eau (Loire, Mayenne, Sarthe…) définissent aussi des aquifères aux propriétés hydrodynamiques intéressantes. Compte tenu de leur vulnérabilité, l'exploitation de telles ressources ne peut se faire sans avoir recours à de puissants moyens de traitement.

Dans le chapitre qui suit, seules les entités du thème sédimentaire des 3 départements traités en année 3 (44, 85 et 53) sont décrites. La caractérisation des entités de socle est reportée en annexe 1.

5.2. ENTITÉS DU THÈME SÉDIMENTAIRE

5.2.1. Grand Système Aquifère du Jurassique inférieur (Lias), entité 146

Les formations du Jurassique inférieur se trouvent dans la plaine de Luçon (zone méridionale de la Vendée).

Après le Carbonifère et les phases tectoniques hercyniennes, la région reste émergée pendant près de 60 millions d'années. C'est la période de pénéplanation du socle armoricain, à la fin du Primaire et au début du Secondaire (Permo-Trias). À partir de -200 millions d'années, les transgressions marines reprennent sur tout le Sud-Ouest de la France et déposent les sédiments jurassiques carbonatés du Bassin Aquitain.

L'avancée des mers liasiques a été facilitée par de multiples accidents créant un affaissement en gradins dans la zone de contact entre le Massif Armoricain et la plaine Jurassique.

Deux entités de niveau 2 ont été distinguées dans ce Grand Système.

1) Système aquifère des Calcaires et Grès du PLiensbachien-Sinémurien-Hettangien, entité NV2 146G

Les premiers dépôts post-paléozoïques connus sont essentiellement constitués d'argiles qui ont comblé les grandes vallées creusées dans la pénéplaine post-hercynienne. Les gisements sont donc discontinus et d'épaisseur très variable. Une entité de niveau 3 a été délimitée : l'*unité imperméable des Argiles vertes et rouges de l'Hettangien inférieur, 146G07*.

Outre ces dépôts argileux, et avant eux, des sédiments gréseux ont, dans une moindre mesure, comblé certaines vallées préliasiques. Leur extension est réduite et on les retrouve très localement dans la région de l'Hermenault. Ils ont été retenus comme entité de niveau 3 et constituent l'*unité aquifère des Sables et Grès de l'Hettangien basal, 146G09*.

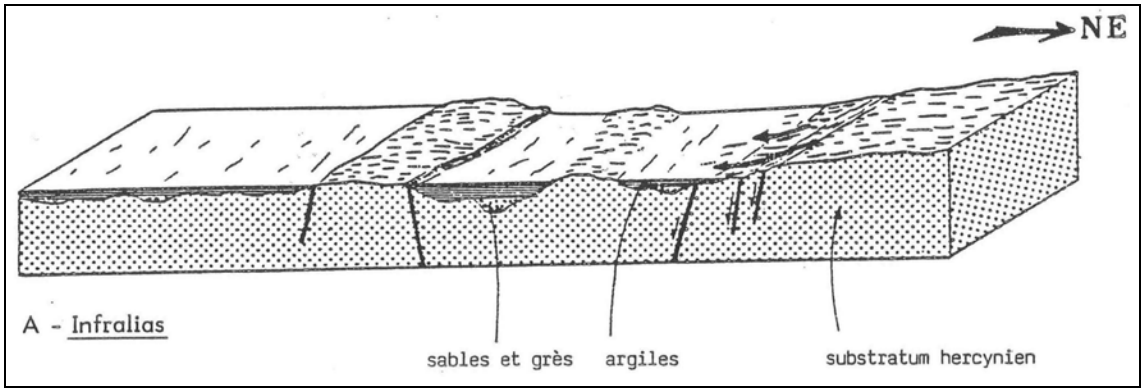


Illustration 45 : Bloc diagramme figurant la transgression infraliasique de la Vendée méridionale (C. Roy, 1987)

Les variations latérales et verticales de faciès (lentilles argilo-sableuses) sont fréquentes ainsi que les relations par échanges verticaux avec le réservoir sus-jacent du Lias inférieur (146G05, cf ci-après), à la faveur des discontinuités des argiles de l'unité 146G07.

Remarque : les faciès argileux de l'Hettangien basal ont été rattachés à l'unité 146G07 et seul le secteur réputé aquifère a été découpé pour former l'unité 146G09.

La première transgression marine sur la plaine d'érosion post-hercynienne est celle de l'Hettangien (illustration 46).

Les sédiments ont formé des calcaires dolomitiques plus ou moins gréseux. Ces formations constituent l'*unité aquifère des Calcaires dolomitiques de l'Hettangien supérieur-Sinémurien*[5], *146G05*.

L'extension de l'aquifère se prolonge vers le sud des affleurements, sous toute la plaine. En revanche, les faibles épaisseurs de l'aquifère à l'ouest et à l'est limitent latéralement son étendue. La présence d'eau souterraine est due à la fissuration de la roche : l'érosion anté-Pliensbachien (lacune du Sinémurien) a altéré la surface de l'Hettangien et la productivité maximale de l'aquifère est atteinte dans les 5 mètres supérieurs du réservoir. L'existence de structures karstiques y est connue.
L'érosion reprend pendant une courte période au Lias moyen (illustration 47), et au Pliensbachien, la mer s'est avancée sur un Massif Armoricain érodé, mais dont les reliefs ont joué le rôle d'îles, tout au moins en bordure. Ces îles ont à leur tour été recouvertes par les dépôts des mers transgressives du Lias supérieur (toarciennes, aaléniennes, etc).
Les premiers dépôts du Pliensbachien sont représentés par des marnes et des calcaires argileux finement gréseux : ils constituent l'*unité semi-perméable des Grès du Pliensbachien*, *146G03* localement karstique.

2) Domaine hydrogéologique de l'Aalénien-Toarcien-Pliensbachien, entité 146A

Lors de la transgression toarcienne, la sédimentation est plus profonde et le faciès marno-calcaire se généralise. Une entité de niveau 3 correspond à ce faciès : l'*unité imperméable des Calcaires marneux de l'Aalénien-Toarcien, 146A01*.

5.2.2. Grand Système Aquifère du Jurassique moyen (Dogger), entité 143

Ces formations (illustration 48) se trouvent dans la plaine de Luçon (zone méridionale de la Vendée). Une seule entité de niveau 2 est délimitée :

Système aquifère des Marnes et Calcaires du Bajocien-Bathonien, entité 143K

Les faciès deviennent franchement calcaires à partir du Bajocien et Bathonien. Ces formations calcaires constituent l'*unité aquifère des Marnes et Calcaires du Bajocien-Bathonien, 143K01*.

Les affleurements de ces formations représentent la plus grande superficie jurassique de la plaine de Vendée (470 km^2). Lorsqu'elle est complète, la série atteint 40 m. Le mur de l'aquifère est constitué des formations marneuses du Bajocien inférieur. L'absence d'horizon imperméable au sein des calcaires du Dogger autorise les circulations verticales d'eau d'infiltration à travers toute la série. Sur les 10 ou 15 premiers mètres d'épaisseur, les calcaires sont altérés et diaclasés (en "plaquettes").

[5] Les dépôts proprement sinémuriens ne sont pas connus dans la série stratigraphique de la Vendée méridionale, mais les auteurs préfèrent utiliser le terme Sinémuro-Hettangien

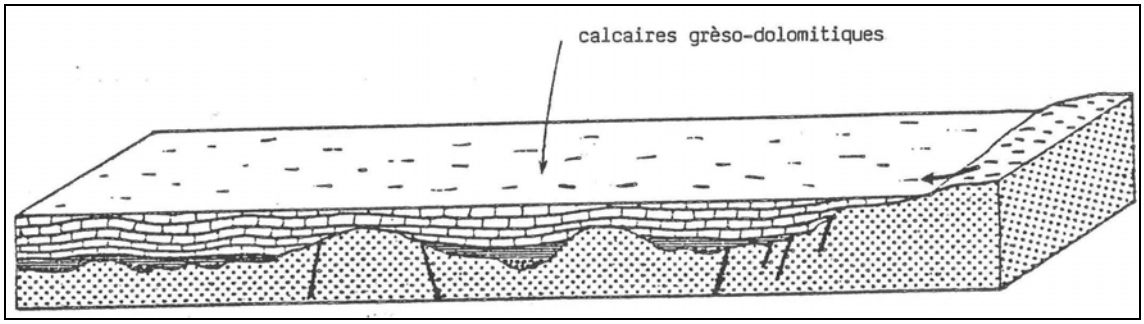


Illustration 46 : Bloc diagramme figurant la transgression marine au Lias inférieur (C. Roy, 1987)

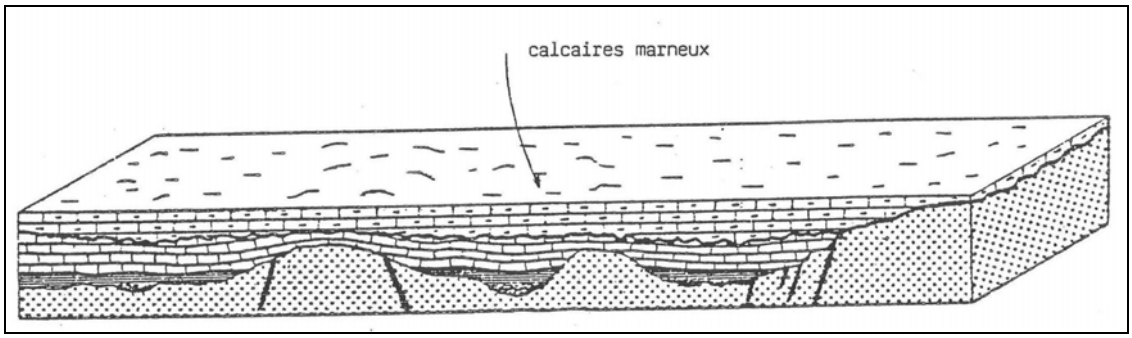


Illustration 47 : Bloc diagramme figurant la sédimentation des calcaires marneux du Lias moyen et supérieur (C. Roy, 1987)

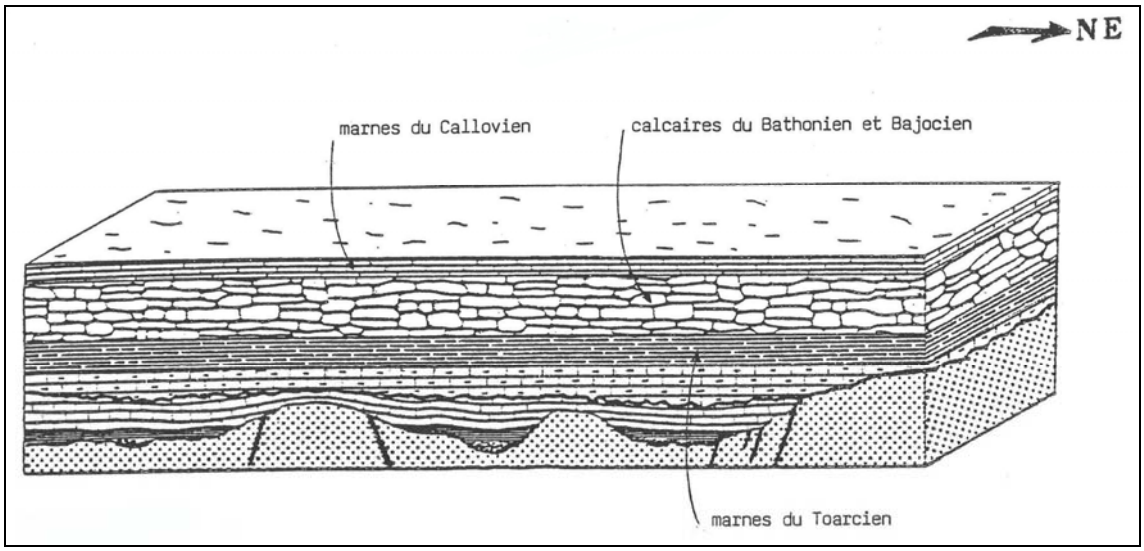


Illustration 48 : Bloc diagramme figurant les dépôts jurassiques de la Vendée méridionale jusqu'au Callovien (C. Roy, 1987)

En profondeur, l'existence de failles ou fissures conditionne la productivité de l'aquifère.

5.2.3. Grand Domaine des Marnes du Callovo-Oxfordien, entité 140

A ce grand domaine du Bassin parisien, ont été rattachées des formations se trouvant dans la plaine de Luçon (zone méridionale de la Vendée) et constituant le:

Domaine hydrogéologique des Marnes et Calcaires du Kimméridgien au Callovien, 140E

Au Callovien, la transgression atteint son maximum et des calcaires marneux se déposent. Les faciès des dépôts calloviens de la plaine jurassique de Vendée sont moins argileux que dans le Bassin Parisien, en Sarthe par exemple ; ces dépôts peuvent constituer une réserve aquifère et ils ont été retenus en tant qu'entité de niveau 3 : l'*unité semi-perméable des Calcaires marneux du Callovien*, *140E01.*

5.2.4. Grand Système Aquifère de l'Oxfordien et du Kimmeridgien inf., entité 137

Les calcaires oxfordiens sont peu représentés en Vendée. Ils s'étendent vers le sud et la région Poitou-Charentes. Leur limite septentrionale est située sous le Marais Poitevin. Il en a été fait une entité de niveau 3 : l'*unité semi-perméable des Calcaires de l'Oxfordien du bassin de la Sèvre niortaise, 137E01* (pour être cohérent avec le référentiel de Poitou-Charentes).

5.2.5. Grand Système Multicouche de l'Albien supérieur au Cénomanien, entité 122

Une nouvelle transgression marine, identifiée dès le Cénomanien, va se développer jusqu'au Sénonien en plusieurs épisodes séparés de discontinuité sédimentaires, soulignées par des "hard-grounds".

Deux entités de niveau 3, présentes dans les 3 départements étudiés (44, 85 et 53) ont été délimitées et rattachées aux 2 entités de niveau 2 suivantes, 122C et 122A.

1) Système aquifère des Sables du Cénomanien, 122C

Bien que peu représenté en Mayenne (et absent en Vendée et Loire-Atlantique), les formations sableuses du Cénomanien inférieur et moyen un aquifère incontournable dans la région. En effet, épais de plus de 30 m, les Sables et Grès du Mans se poursuivent en Sarthe et en Maine-et-Loire. Ils peuvent être très hétérogènes selon la présence de niveaux argileux ou marneux (structure multicouches).

Ces formations constituent une entité de niveau 3, l'*unité aquifère des Sables du Cénomanien inférieur et moyen, 122C07*.

2) Domaine hydrogéologique des Argiles sableuses, Sables, Grès et Marnes à Ostracées du Cénomanien sup., entité 122A

Dans le bassin de Challans-Comméquiers (Vendée) et dans le Marais Breton, ainsi que plus à l'est au niveau de la commune de Touvois (Loire-Atlantique), les argiles sableuses du Cénomanien-Turonien reposent directement sur le socle. A leur base, un horizon graveleux à passées sableuses d'épaisseur variable constitue localement une faible réserve aquifère. Ces formations constituent une entité de niveau 3 : l'*unité semi-perméable des Argiles sableuses du Cénomanien-Turonien*, *122A01.*

5.2.6. Grand Système Multicouche du Turonien au Campanien (Séno-Turonien), entité 121

Les formations sénoniennes transgressives débordent sur les formations précédentes, et reposent parfois directement sur le socle. D'argilo-marneuse à la base, le dépôt devient plus sableux vers le sommet.

Ces formations ont été retenues pour former l'*unité semi-perméable des Sables du Sénonien de Vendée*, *121A03*. Cette unité est rattachée à l'entité NV2 **121A, 'Craie et Sables du Séno-Turonien'**

5.2.7. Grand Système Multicouche de l'Eocène à l'Oligocène inférieur, entité 113

A ce Grand Système du Bassin parisien ont été rattachées 3 entités de niveau 2 : 113G, 113Q et 113S.

1) Domaine hydrogéologique des Marnes et Calcaires de l'Yprésien, entité 113S

Les premiers dépôts tertiaires identifiés, après la continentalisation généralisée fini-crétacée-paléocène, sont d'âge yprésien et correspondent notamment à des sédiments terrigènes sableux fluvio-deltaïques (dont l'âge est discuté). Ils ont été regroupés au sein de l'*unité semi-perméable des Sables de l'Yprésien ou du Pliocène, 113S01*.

En Bretagne, les dépôts d'âge Eocène inférieur (sables, limons et argiles) sont présents sur les sites suivants : Port-Louis Lorient (Morbihan) et Chartres-de-Bretagne Bruz, Pont-Péan, Grand-Fougeray, Teillay (Ille-et-Vilaine). D'extension limitée, ils ont été intégrés dans le référentiel comme une "entité complémentaire".

2) Système aquifère des Calcaires sableux du Lutétien, entité 113Q

Par la suite, au Lutétien supérieur, de petits bassins, tels ceux de Challans (déjà évoqué plus haut), Machecoul, Arthon-en-Retz, ou plus vastes comme celui de Campbon, s'individualisent et comportent principalement des calcaires sableux à Nummulites ; ceux-ci ont regroupés pour former l'*unité aquifère des Calcaires sableux du Lutétien supérieur, 113Q01*.

3) Système aquifère des Argiles sableuses de l'Eocène-Oligocène, des Grès du Bartonien et des Calcaires du Rupélien (Oligocène inf.), entité 113G

• Dans le bassin tertiaire de Saffré, le faciès lutétien est sablo-argileux ; ces formations ont été regroupées dans l'*unité semi-perméable des Argiles sableuses du Lutétien, 113G07*.

En Bretagne, ces dépôts ne sont visibles que sur la commune de Penvénan (Côtes-d'Armor) : ils ont été considérés dans cette région comme une "entité complémentaire".

• En Mayenne, entre Laval et Le Mans, plusieurs gisements de sables, de blocs de grès et de meulières sont rapportés au Bartonien par analogie avec les *Grès à Sabals* de la Sarthe. Par ordre d'importance, ces gisements sont le Bois d'Hermet, Sainte-Gemmes-le-Robert, la Croix Blanche, puis Saint-Christophe-du-Luat et Châtre-la-Forêt. Ils ont été regroupés dans l'*unité aquifère des Grès du Bartonien, 113G05*.
Le plus souvent, il s'agit de sables fins de ton clair, à peine teintés d'ocre. Des graviers arrondis de quartz et de petits galets se trouvent à la base de la formation, souvent cimentés en dalles de grès siliceux. L'épaisseur de la formation peut atteindre 30 m. L'extension de ces dépôts était à l'origine plus vaste, comme en témoignent les nombreux blocs de grès résiduels rencontrés jusque sur le complexe basique de Brée-Neau, et la fréquence de cailloux de grès dispersés par le vent.

• La dépression de Saffré continue à s'épaissir au Bartonien (tandis que celle de Nort-sur-Erdre commence à s'individualiser) et reçoit jusqu'au Rupélien des sédiments argileux. y est puissante de plusieurs dizaines de mètres.

En Bretagne, les dépôts argileux d'âge Éocène supérieur - Oligocène inférieur sont présents sur les sites suivants : Quimper Toulven (Finistère) et Landéan, Chartres-de-Bretagne Bruz, Pipriac (Bouëssic), Pipriac (La Cohiais) (Ille-et-Vilaine). A Landéan, la profondeur maximale du bassin semble être de 71 m, tandis qu'à Quimper le bassin dépasse les 55 m de profondeur.

Toutes ces formations (en Bretagne et Pays de la Loire) ont été regroupées pour constituer l'*unité imperméable des Argiles sableuses du Bartonien-Rupélien 113G03.*

En Bretagne, au niveau de St-Jacut-du-Méné (Côtes-d'Armor) et de Loutehel (Ille-et-Vilaine), les argiles et marnes de l'Oligocène ont été considérés comme une "entité complémentaire".

• En Loire-Atlantique, l'entité 113G03 est surmontée par des calcaires constituant l'*unité aquifère des Calcaires du Rupélien supérieur, 113G01*. Cette dernière est largement exploitée pour l'eau potable, aussi bien dans le bassin de Saffré (où des phénomènes karstiques sont avérés) que dans le bassin voisin de Nort-sur-Erdre (Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable de Nort-sur-Erdre).

En Bretagne, la lithologie de ces dépôts est plus variée : sables, galets, argiles, calcaires, marnes de l'Oligocène inférieur à Crozon, Guilers, Aber-Ildut (Finistère) et Chartres-de-Bretagne Bruz, Langon, Les Brulais, Pipriac (La Cohiais) (Ille-et-Vilaine). Ces dépôts ont été considérés comme une "entité complémentaire".

5.2.8. Grand Domaine du Mio-Pliocène, entité 104

Au Miocène, la région connaît plusieurs transgressions. À la fin du Miocène, le Massif Armoricain est affecté par d'importants basculements consécutifs à la collision alpine, s'accompagnant du rejeu de nombreuses failles. Au cours du Pliocène, la sédimentation régressive est associée une succession d'ondulations tectoniques, entraînant une fluctuation des aires de dépôts. Ceux-ci sont bien conservés dans les bassins d'effondrement tertiaires.

1) Domaine hydrogéologique des Faluns du Miocène moyen, entité 104C

Les faluns (sables coquilliers calcaires) sont présents sur plusieurs bassins bretons et sont exploités dans toutes les communes suivantes pour l'alimentation en eau potable : Le Quiou-Tréfumel (Côtes-d'Armor) et Chartres-de-Bretagne Bruz, St-Grégoire, Dingé, Feins, Lohéac, St-Sauveur-des-Landes, Coësmes, Gahard, Guipel, Landujan, St-Aubin-d'Aubigné (Ille-et-Vilaine). Ils forment l'*unité aquifère des Faluns du Miocène moyen 104C1*.
En effet, la perméabilité de ces terrains est beaucoup plus importante que les formations de socle (selon les références bibliographiques : perméabilité variant de $1{,}7.10^{-4}$ à 9.10^{-3} m/s). Leur épaisseur est très variable : de l'ordre de quelques mètres à plus d'une dizaine de mètres.
Ces faluns de Bretagne sont rassemblés avec les faluns d'Anjou et de Touraine du Miocène moyen.

2) Système aquifère des Sables du Pliocène en Bretagne et Pays de la Loire, entité 104B

Les sables pliocènes sont le plus souvent rencontrés sous forme de placages résiduels mais constituent, lorsqu'ils sont suffisamment puissants, une ressource aquifère significative (bien que vulnérable qualitativement). Ils sont notamment exploités pour l'alimentation en eau potable dans le bassin d'effondrement tertiaire de Nort-sur-Erdre, mais on les retrouve partout dans le domaine sédimentaire. Leur distinction n'est pas aisée, et dans les descriptions lithologiques des cartes géologiques harmonisées, ils sont souvent associés :

- aux graviers, sables et cailloutis du Quaternaire ;
- aux sables et graviers argileux du Miocène ;
- aux sables et cailloutis de l'Yprésien.

La nappe qu'ils renferment est presque exclusivement libre. Ces formations ont été rassemblées (Bretagne et Pays de la Loire) dans l'*unité aquifère des Sables du Pliocène, 104B03*.

En Bretagne, ces sables (appelés aussi "*Sables grossiers rouges indurés, ou roussards*") sont présents sur plusieurs bassins et sont exploités dans toutes les communes suivantes pour l'alimentation en eau potable : Mohon, Radenac (Morbihan) et Argentré-du-Plessis, Lassy, Theil-de-Bretagne, Pipriac (Le Meneu), Rannée La Guerche-de-Bretagne, Retiers, St-Malo-de-Phily, St-Séglien (Ille-et-Vilaine). En effet, la perméabilité de ces terrains est beaucoup plus importante que les formations de socle (selon les références bibliographiques : perméabilité variant de 4.10^{-4} à $2,5.10^{-3}$ m/s). Leur épaisseur est très variable : de l'ordre de quelques mètres à plus d'une dizaine de mètres.

Ces sables du Pliocène, bien que majoritairement sableux, peuvent présenter des faciès argileux ou marno-silteux.

En Bretagne, ces faciès se rencontrent dans quelques bassins en Ille-et-Vilaine et dans le Morbihan ; ils ont été considérés comme une "entité complémentaire", de nature imperméable, nommée "*Argiles du Pliocène d'Ille-et-Vilaine et du Morbihan"*.
Dans le Finistère et sur la commune de Landujan (Ille-et-Vilaine), se trouvent des dépôts argilo-sableux. En l'absence de datation, ils ont été considérés comme Tertiaire indifférencié. Ils constituent une "entité complémentaire", de nature semi-perméable, nommée "*Argiles sableuses du Tertiaire indifférencié*".

5.2.9. Grand Domaine du Quaternaire, entité 101

Une seule entité de niveau 2 est constituée :

Domaine des dépôts holocènes, 101A

• La Brière, le Marais Breton et le Marais Poitevin sont occupés par des alluvions marines holocènes, localement appelé *bri* ou *terre de marais*, composé de deux formations : une couche superficielle de vase gris-noir, riche en matière organique, est superposée à une vase verdâtre, reposant sur le socle cristallin (Brière, Marais Breton), sur le calcaire lutétien (Marais Breton) ou sur des formations jurassiques (Marais Poitevin) par l'intermédiaire d'une mince couche sableuse (sauf dans les anciens chenaux, où elle est plus épaisse).
Les vases comprennent des intercalations centimétriques d'argile ou des lits sableux : ces litages alternés témoignent d'une sédimentation irrégulière et saccadée, formée sur des "slikkes" et des "schorres" successifs, peu avant la fin de la remontée flandrienne. Il est par ailleurs mentionné dans la notice de la carte géologique de

Challans l'existence d'une très faible nappe d'eau douce ayant alimenté, quoique de façon précaire, les habitations du secteur avant l'installation du réseau AEP.
Les vases jouent un rôle hydrogéologique notable puisqu'elles rendent semi-captifs les aquifères sous-jacents (lorsqu'ils existent) ; c'est la raison pour laquelle le *bri* les alluvions marines holocènes ont été regroupés dans l'*unité semi-perméable des vases flandriennes 101A03*.
Les alluvions fluvio-lacustres du Lac de Grand-Lieu qui rendent les calcaires gréseux lutétiens sous-jacents captifs ont été intégrés à cette entité hydrogéologique.

- Enfin, les sables dunaires holocènes du cordon littoral renferment en surface une nappe d'eau douce exploitée par des puits particuliers. Ils constituent l'*unité aquifère des sables dunaires, 101A01*. La productivité de cette nappe est faible et sa surexploitation peut entraîner localement une augmentation de la salure par la remontée des eaux saumâtres existant à la base de l'aquifère.

…

6. Conclusion

Ce rapport rend compte de la construction du référentiel hydrogéologique en Bretagne (année 4 du projet) et en Pays-de-la-Loire dans les départements de la Vendée, de Loire-Atlantique et de la Mayenne (année 3 du projet). Le travail mené a permis de délimiter :

- **21 unités de niveau local (NV3)** dans le domaine sédimentaire et **98 entités de socle**.

Ces entités de niveau 3 ont été rattachées à :

- 14 systèmes ou domaines du niveau régional (NV2) dans le thème sédimentaire et 51 dans le thème socle,

et ceux-ci à :

- 24 grands systèmes ou grands domaines du niveau national (NV1), 9 dans le sédimentaire et 18 dans le thème socle.

A ces entités dites "principales" s'ajoutent des entités dites "complémentaires" constituant une entité complémentaire du référentiel. Elles regroupent des formations qui sont telles qu'elles ne permettent pas de respecter l'homogénéité du référentiel ou qui constituent des cas particuliers difficilement intégrables dans le cadre général du référentiel. Ont été rangées dans ce groupe :

- les systèmes alluvionnaires,
- les altérites superficielles du socle,
- les "pointements" de socle dans les formations sédimentaires,
- les secteurs karstiques connus.
- des formations sédimentaires de faible extension en Bretagne

Les entités, "principales" et "complémentaires", sont actuellement intégrées dans une "géodatabase" ArcGis (version 9.31) à laquelle est associée un "modèle de gestion", à la fois outil d'analyse (vérifiant la cohérence topologique 3D de l'ensemble des entités) et outil d'accès aux entités par l'intermédiaire d'un menu permettant d'effectuer de nombreuses requêtes.
Ce modèle de gestion du Référentiel offre une nouvelle approche numérique de l'hydrogéologie du territoire grâce à la notion d'ordre relatif de superposition et aux possibilités de visualisation des toits et des murs de chacune des entités hydrogéologiques délimitées.

Une harmonisation inter-régionale (régions du bassin Loire-Bretagne) est prévue à la suite de ce rapport. Elle portera en particulier sur :

- les raccordements des entités d'une région à l'autre,
- le nom des entités et leur code (codification nationale).

Toutes les entités seront intégrées dans une géodatabase propre au bassin Loire-Bretagne.

7. Bibliographie

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.

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

SANDRE (2004) – Description des données sur le référentiel hydrogéologique. Version 08 du 03/05/2004.

Documents exploités pour l'identification et la délimitation des entités

Baudouin V., Mougin B., Rouxel E. (2009) – Référentiel Hydrogéologique Français BDRHF Version 2. Bassin Loire-Bretagne Année 2. Délimitation des entités hydrogéologiques en région Pays de Loire. Départements du Maine et Loire et de la Sarthe. Rapport d'étape. BRGM/RP-56954-FR.

Béchennec F. (2007) – Carte géologique harmonisée du département de Loire-Atlantique. BRGM/RP-55703-FR.

Béchennec F. (2009) – Carte géologique harmonisée du département de Vendée. BRGM/RP-57473-FR.

Carn A. - Etude du gisement aquifère. Chapitre 3. In Contribution à l'étude hydrogéologique des volcanites du Trégor. Thèse : Sciences Naturelles. Soutenue le 24 Mai 1983 à Montpellier.

CEBTP (2005) – Recherche de cavités karstiques. Commune de Saffré. Diagnostic géotechnique.

Chevrel S., Limasset O. (1983) – L'eau dans le socle du Maine-et-Loire. Examen des résultats d'une centaine de forages récoltés au titre du Code Minier en 1983 – Note BRGM SGR/PAL 83-20.

Corbier P., Mardhel V. (2003) – Carte de vulnérabilité simplifiée des bassins versants de la région Pays de la Loire – Rapport final BRGM/RP-53106-FR.

Duermael G. (1997) – Ressources en eau profonde de qualité et dénitrification naturelle en Mayenne - Rapport BRGM R39643.

Durand S. (1959) – Le Tertiaire de Bretagne – Étude stratigraphique, sédimentologique et tectonique. Thèse de doctorat, Université de Rennes.

Estéoule-Choux J. (1967) – Contribution à l'étude des argiles du Massif Armoricain – Argiles des altérations et argiles des bassins sédimentaires tertiaires. Thèse de doctorat, Université de Rennes.

Lemordant Y. (1996) – Synthèse hydrogéologique de l'aquifère infra-toarcien en région Poitou-Charentes. Rapport BRGM R38893.

Limasset O., Talbo H. (1971) – Ressources en eaux souterraines dans le Maine-et-Loire. Synthèse documentaire – Rapport BRGM 71 SGN 134 BPL

Mougin B., collaboration : Carn A., Jégou J-P. et Quéméner G. (2006) - SILURES Bretagne - Rapport d'avancement de l'année 4 - BRGM/RP-55001-FR

B. Mougin, D. Allier, R. Blanchin, A. Carn, N. Courtois, C. Gateau, E. Putot, collaboration J-P. Jégou, P. Lachassagne, P. Stollsteiner et R. Wyns (2008) - SILURES Bretagne - Rapport final - Année 5 - BRGM/RP-56457-FR

Rabu D., Chantraine J. et Béchennec F., 2001. Carte géologique du Massif Armoricain à 1/ 250 000. BRGM

Roux J.-C. (sous la direction de, 2006) – Aquifères et eaux souterraines en France. BRGM éditions.

Rouxel E., Bichot F., Pinault J.-L. avec la collaboration de Lereculey A. (2007) Recherche d'indicateurs de gestion pour les eaux souterraines – Bassins vendéens au nord du Marais Poitevin. Rapport BRGM/RP-55505-FR.

Roy C. (1987) – Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine jurassique du Sud de la Vendée. Thèse de doctorat, Université de Nantes.

H. Talbo (1993) - Aptitudes des formations géologiques de Bretagne à l'installation d'un centre technique d'enfouissement – Rapport BRGM 93.04

H. Talbo (1995) - Schéma régional d'alimentation en eau potable – Nouvelles ressources en eau souterraine potentiellement mobilisables – Rapport BRGM R38264

Wyns R., Lacquement F., Corbier P. et Vairon J. (2002) - Cartographie de la réserve en eau souterraine du massif granitique de La Roche sur Yon (Vendée). BRGM/RP-51633-FR

Wyns, R., J. M. Baltassat, P. Lachassagne, A. Legchenko, J. Vairon and F. Mathieu, Application of Magnetic Resonance Soundings for groundwater reserves mapping in weathered basement rocks (Brittany, France), Bulletin de la Société Géologique de France t. 175 (1) (2004) 21-34.

Wyns R., Quesnel F., Lacquement F., Bourgine B., Mathieu F., Lebert F., Baltassat J.M., Bitri A., Mathon D. (2005) - Contrat de Plan Etat-Région Pays de la Loire - Projet de Recherche « Cartographie quantitative des propriétés du sol et du sous-sol » : Rapport final BRGM/RP-53676-FR

Notices des cartes géologiques au 1/50 000

Documents spécifiques aux bassins Cénozoïque de Bretagne

Archambault J. et Lamblin J-M. (BURGEAP) – 1971 – Ressources en eau des bassins tertiaires du bassin de la Vilaine – Rapport R.57 pour l'Agence financière du bassin Loire-Bretagne.

L. Brunel (1971) - Etude hydrogéologique du Bassin de Bruz-Chartres – Rapport BRGM 71 SGN 003 BPL

L. Brunel et J. Depagne (1973) - Etude hydrologique du Bassin Tertiaire de St Grégoire (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 73 SGN 213 BPL

L. Brunel et H. Talbo (1978) - Bassin tertiaire de Saint Aubin d'Aubigné (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 78 SGN 266 BPL

L. Brunel et H. Talbo (1978) - Bassin tertiaire de Médréac (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 78 SGN 267 BPL

L. Brunel et H. Talbo (1978) - Bassin tertiaire de Landujan (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 78 SGN 268 BPL

L. Brunel et H. Talbo (1978) - Bassin tertiaire de Mernel (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 78 SGN 269 BPL

L. Brunel et H. Etienne (1978) - Bassin tertiaire de la Gaumonnerie à Rannée - Exploitation du nouveau forage NEF 2 (354-7-68) – Rapport BRGM SGR/BRE 78-20

Estéoule-Choux J. (1967). Contribution à l'étude des argiles du Massif armoricain. Argiles d'altération et argiles sédimentaires tertiaires. Thèse, Rennes, 1967

S. Kuklan (1970) - Etude hydrogéologique des formations aquifères du bassin de Langon – Rapport BRGM 70 SGN 005 BPL

H. Talbo (1981) - Etude hydrogéologique du bassin tertiaire de Meneu. Commune de Pipriac – Rapport BRGM SGR/BRE 81-15

Thomas E. (1999) – Evolution cénozoïque d'un domaine de socle : le Massif Armoricain. Thèse d'Université, Rennes 1

Documents spécifiques des études hydrogéologiques de Bretagne où il y a eu des levers d'altérites

BRGM (1998) – Qualité des eaux en Bretagne – Ruissellement – Infiltration – Temps de réponse – Secteur Côtes d'Armor (bassin du Yar) - Rapport BRGM R 40412.

BRGM (2000) – Qualité des eaux en Bretagne – Ruissellement – Infiltration – Temps de réponse – Bassins versants : le Yar (Côtes d'Armor), l'Horn (Finistère), le Coët Dan (Morbihan) – Rapport BRGM RP-50262-FR

B. Mougin, E. Thomas, R. Wyns, R. Blanchin et F. Mathieu (2003) - Comportement hydrodynamique des roches altérées de la surface sur le bassin versant de la rade de Brest (Finistère) - Rapport final - BRGM/RP-52656-FR

B. Mougin, E. Thomas, R. Wyns, R. Blanchin et F. Mathieu (2004) - Qualité des eaux en Bretagne - Ruissellement - Infiltration - Temps de réponse - Bassins versants du Yar (22), de l'Horn (29), et du Coët Dan (56) - Rapport final - BRGM/RP-52731-FR

B. Mougin, E. Thomas, F. Mathieu, R. Blanchin et R. Wyns (2005) - SILURES Bassins Versants - Dourduff (29), Oust (56), Yvel (56), Maudouve et Noë Sèche (22) Rapport final Année 2 - BRGM/RP-53742-FR

B. Mougin, D. Allier, E. Putot, J-J. Seguin, J-M. Schroetter, R. Blanchin, collaboration : J-L. Izac, J-P. Jégou (2007) - Bassins versants bretons en contentieux européen : typologie et modélisation de l'évolution des concentrations en nitrates - Rapport d'avancement au 15 octobre - BRGM/RP-55842-FR

B. Mougin, J-M. Baltassat, R. Blanchin, E. Putot, J-M. Schroetter et R. Wyns (2008) - SILURES Bassin versant Ille-et-Vilaine - Bassin du Nançon - Rapport final - Année 2 - BRGM/RP-56318-FR

Annexe 1
Découpage des entités hydrogéologiques en domaine de socle – Notes méthodologiques

B. Mougin (BRGM – SGR Bretagne) et J.J. Seguin (BRGM – EAU/ADM)

Annexe 1-1
Découpage des entités hydrogéologiques de socle sur les départements de la région Pays-de-la-Loire (Maine-et-Loire, Sarthe, Loire-Atlantique, Mayenne et Vendée)

1. DONNÉES DISPONIBLES

- BD Carthage (Base de Données sur la CARtographie THématique des AGences de l'eau et du ministère de l'Environnement) sur le bassin Loire-Bretagne. Edition 2008, version du 22/07/2008, téléchargée le 04/09/2008 sur le site du Sandre
- BD Carthage sur le bassin Seine-Normandie. Même édition 2008
- Données disponibles : région, secteur, sous-secteur et zone hydrographique (contours), et cours d'eau (linéaire)
- Extraction de la Banque HYDRO des stations hydrométriques du bassin Loire-Bretagne (nom, numéro, coordonnées, VCN10(*), date début et fin, superficie contrôlée) au 27/10/2008 (Quang-Hung NGO DIREN Bassin Loire-Bretagne)
- Extraction de la Banque HYDRO des VCN10 des stations hydrométriques de Basse-Normandie (février 2009)
- Janvier 2009 fichier avec informations des gestionnaires (DDE de la Charente-Maritime, DDE de la Vienne, DIREN Basse-Normandie, DIREN Bretagne et DIREN Pays-de-Loire) sur la fiabilité des stations : validité de la mesure du débit, régime influencé ou pas, courbes de tarage, étiage (S. PINSON au Service EAU, BRGM)
- Cinq cartes géologiques harmonisées à 1/50 000 sur les départements : Maine-et-Loire (49), Sarthe (72), Loire-Atlantique (44), Vendée (85) et Mayenne (53)
- Notices des cartes géologiques au 1/50 000 couvrant ces départements
- Carte géologique synthétique au 1/250 000 (RABU D., CHANTRAINE J. et BECHENNEC F., 2001. Carte géologique du Massif Armoricain à 1/ 250 000. BRGM)
- Polygones des entités hydrogéologiques de la BDRHF V1

Les données de BD Carthage projetées en Lambert 93 (Systèmes Français RGF93 - Méridien de Greenwich / France Lambert-93) ont été converties en Lambert II étendu (Systèmes Français - Méridien de Paris / Lambert II Carto - Paris).
On rappelle ci-dessous la définition des termes utilisés pour identifier les entités de NV2 :

- (*) **VCN10** : moyenne des débits les plus bas de l'année sur une période de dix jours consécutifs (méthode de calcul : ajustement à une loi de GALTON et utilisation du VCN10 moyen sur la période de mesure),
- **QES** : débit d'étiage spécifique, égal au rapport « VCN10 / superficie du bassin versant considéré », exprimé en l/s/km^2

Remarque: cette note présente un travail réalisé avant la phase d'harmonisation. Les codes des entités mentionnées (dont ceux présents sur les illustrations) sont les anciens codes de travail (ex: K13E1).
Le lien avec la codification nationale qui a été introduite (cf corps principal du rapport et tableau multi-échelles du socle en annexe 5) se fait comme suit:

KxEy est remplacé par 250xE0y si x<9 et pour x >9, KxEy est remplacé par 260xE0y (on ajoute le nombre x à 250).
Par exemple : K5A2 devient 255A02 et K11B11 devient 261B01.

2. ENTITÉS NV1 DU SOCLE

Les grands bassins hydrologiques (secteur hydrographique) de BD Carthage Loire-Bretagne et Seine-Normandie :

- bassin côtier de l'embouchure de la Seine (exclu) à la limite du bassin Loire Bretagne : I8 et I9 ;
- bassins de la Bretagne : J0, J7 et J9 ;
- la Loire de la Vienne (c) à la Maine (nc)[6] : L8 et L9 ;
- la Loire de la Maine (c) à la mer : M0 à M8 ;
- bassins côtiers au Sud de la Loire : N0 à N8 ;
- et îles marines : Z5 ;

ont été sélectionnés. Les îles d'Yeu et de Noirmoutier ont été rattachées au bassin le plus proche (Z5 à N0). Des regroupements de grands bassins ont été effectués selon des critères de continuité des cours d'eau (Sarthe : M0-2-4, Vilaine : J7-9 et Loire : L8-9+M5-6-8), selon des critères de superficie (N0-1-2, et N4-5-6-7-8) et de confluence (I8-9). Les soucis de jointure entre BD Carthage du bassin LB et celui du bassin SN ont été gérés.

Les 11 entités NV1 de socle ainsi obtenues ont été codifiées et renseignées dans le tableau multi-échelles.

Avant découpage avec la limite du domaine sédimentaire, la superficie des entités de niveau 1 varie de 1 579 à 12 090 km^2 (superficie de 282 à 8 993 km^2, après découpage grossier[7] avec la limite du domaine sédimentaire ; cf. illustration A1).

Les illustrations A2 et A3 montrent que le toit du socle s'enfonce sous les formations sédimentaires (pente d'environ 1 % en Maine-et-Loire et environ 10 % en Vendée). En Maine-et-Loire, la limite Est des entités NV1 à proximité du sédimentaire dépasse de 5 à 10 km le contact socle-sédimentaire à l'affleurement. En Vendée, comme la pente est plus élevée, la limite Sud des entités NV1 dépasse de 2 à 6 km le contact.

[6] nc = non compris et c = compris (notations BD Carthage)

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

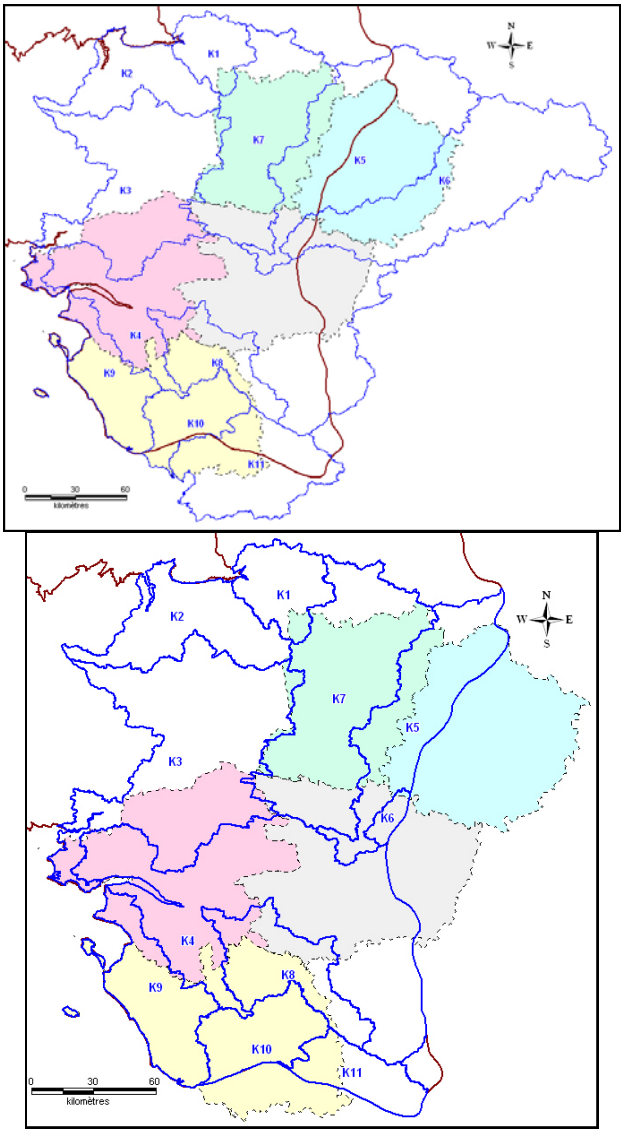


Illustration A1 - Entités de socle de niveau NV1 (région Pays-de-la-Loire)
(avant et après découpage grossier avec la limite des formations sédimentaires)

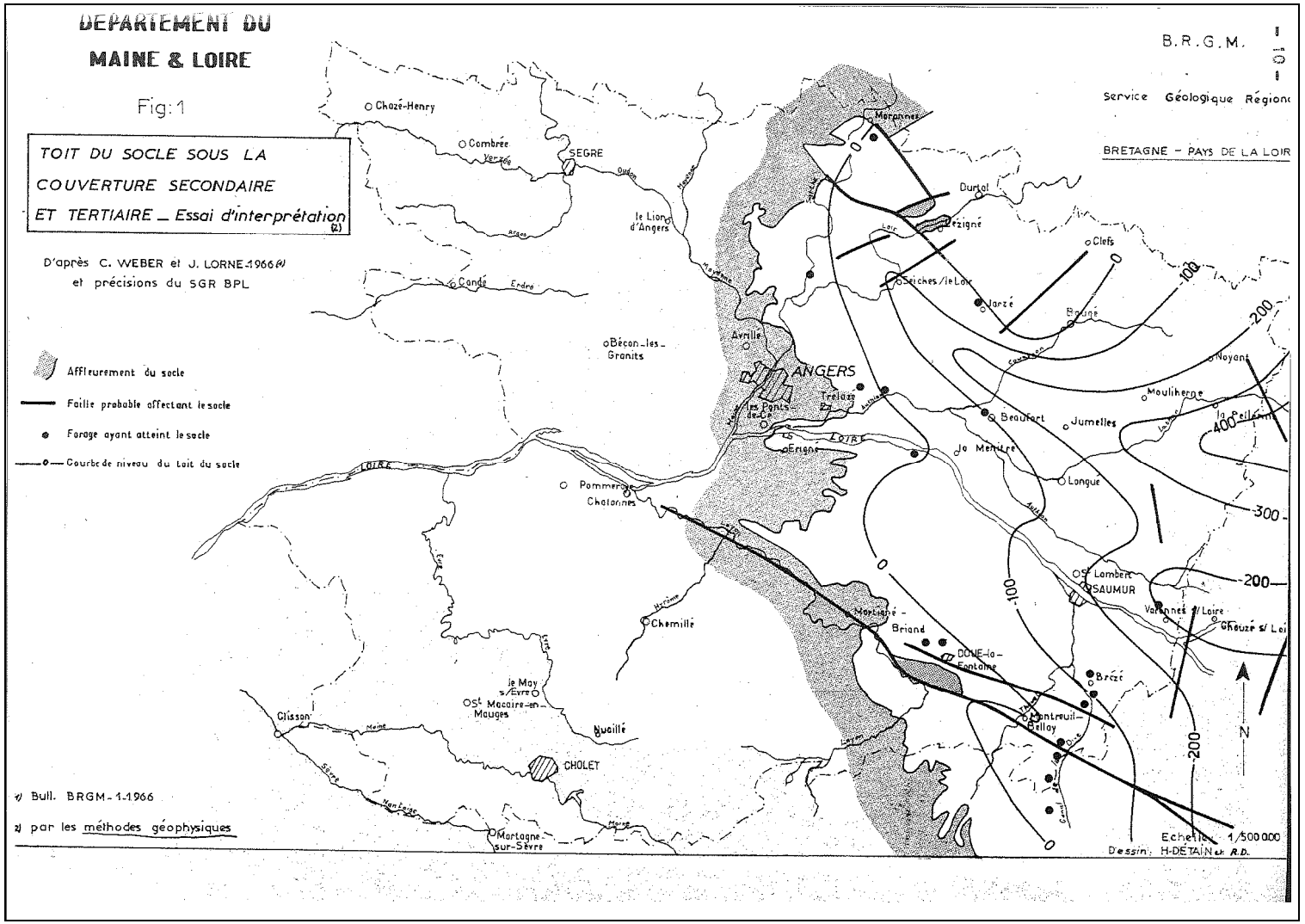


Illustration A2 - Toit du socle sous la couverture sédimentaire (département Maine-et-Loire)

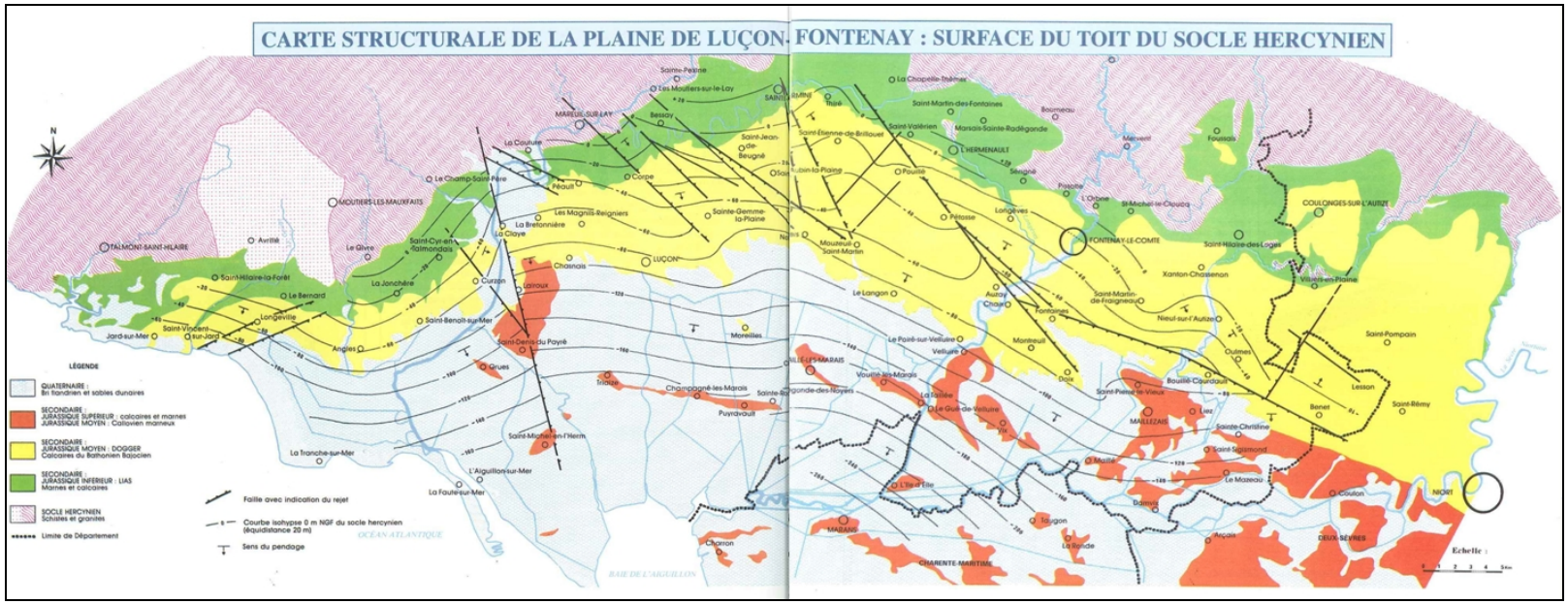


Illustration A3 - Toit du socle sous la couverture sédimentaire (département Vendée)

3. ENTITÉS NV2 DU SOCLE

3.1. Définition de bassins NV2 avec BD Carthage

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

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

En cas de superficie de bassins versants excédant 200 km^2, certains affluents des principaux cours d'eau ont été séparés en utilisant les zones hydrographiques BD Carthage (exemples : de l'Ernée pour la Mayenne (entité K7H avant assemblage), et de la Sanguèze pour la Sèvre Nantaise (entité K8E avant assemblage)).

Certaines zones hydrographiques ont dû faire l'objet de corrections par digitalisation des contours des bassins versants au niveau des exutoires des affluents (exemples : du Vicoin et de la Colmont pour la Mayenne (entités K7G-K7J avant assemblage), et du Don pour la Vilaine (entité K3I avant assemblage)).

71 bassins NV2 de socle ont ainsi été obtenus, dont 12 qui sont situés en dehors de Pays-de-la-Loire (superficie des 59 entités régionales de 87 à 2 402 km^2, après découpage grossier avec le sédimentaire).

3.2. Prise en compte des débits spécifiques

Les **débits d'étiage spécifiques** ont été calculés à partir des VCN10 et des superficies des bassins.
Deux colonnes ont été ajoutées au tableau de codification (QES, station) pour renseigner les valeurs du débit d'étiage spécifique et du numéro de la station qui permet ce calcul.

Pour ce traitement, les stations hydrométriques sélectionnées sont celles situées le plus à l'aval des cours d'eau, avec (dans la mesure du possible) au moins 10 années de mesures (cf. illustration A4), et avec une bonne fiabilité à l'étiage (information fournie par les gestionnaires via la Banque HYDRO : renseignements dans « régime influencé » et « qualité globale des mesures » de la « fiche station »).

La fiabilité des stations du bassin Loire-Bretagne a également été demandée aux gestionnaires, de septembre à novembre 2008, dans le cadre d'une étude sur les relations nappe-rivière, réalisée par le Service EAU du BRGM pour le compte de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne. Les informations des gestionnaires suivants ont été utilisées : DDE de la Charente-Maritime et de la Vienne, et DIREN Pays-de-Loire.

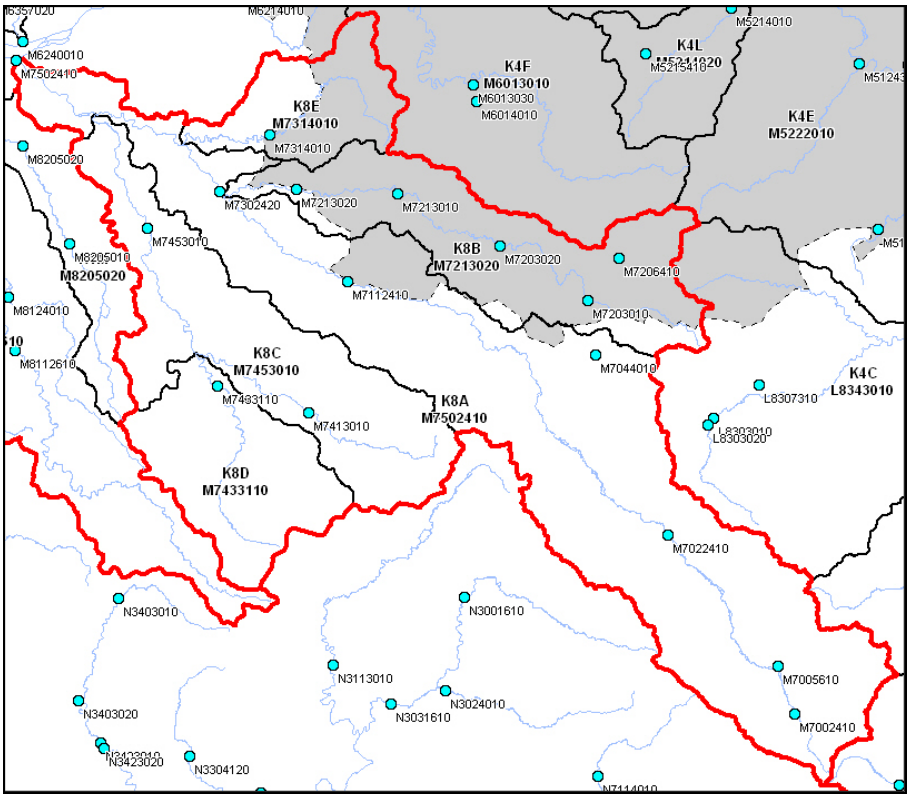


Illustration A4 - Choix des stations hydrométriques avec QES pour affectation aux bassins NV2 (entité NV1 : K8 La Sèvre Nantaise & ses affluents)

Pour la détermination des seuils de QES, l'avis d'expert (J. RAFFY, DIREN Bretagne) a été pris en compte. Celui-ci a jugé de la pertinence des seuils définissant les quatre classes de QES, le premier seuil de QES étant fixé 0.7 l/s/km^2 pour isoler les bassins schisteux et/ou gréseux. Le seuil le plus élevé a été fixé à 3.5 l/s/km^2 en se basant sur les résultats du projet SILURES Bretagne (Mougin et al., 2008) qui a identifié les rivières bretonnes où la participation des eaux souterraines est la plus forte. Le seuil intermédiaire à 1.75 l/s/km^2 permet de répartir les bassins restants en deux classes à nombre homogène d'individus.

Un QES a pu être affecté aux 63 (sur 71) bassins NV2 renseignés (illustration A5) : 41 stations situées vers l'exutoire caractérisent correctement les bassins versants, le reste correspondant à des stations situées au milieu du BV). 8 bassins NV2 n'ont pas de QES soit parce qu'ils ne disposent pas de station hydrométrique (4), soit parce que la station n'a pas assez d'années de mesure (4).

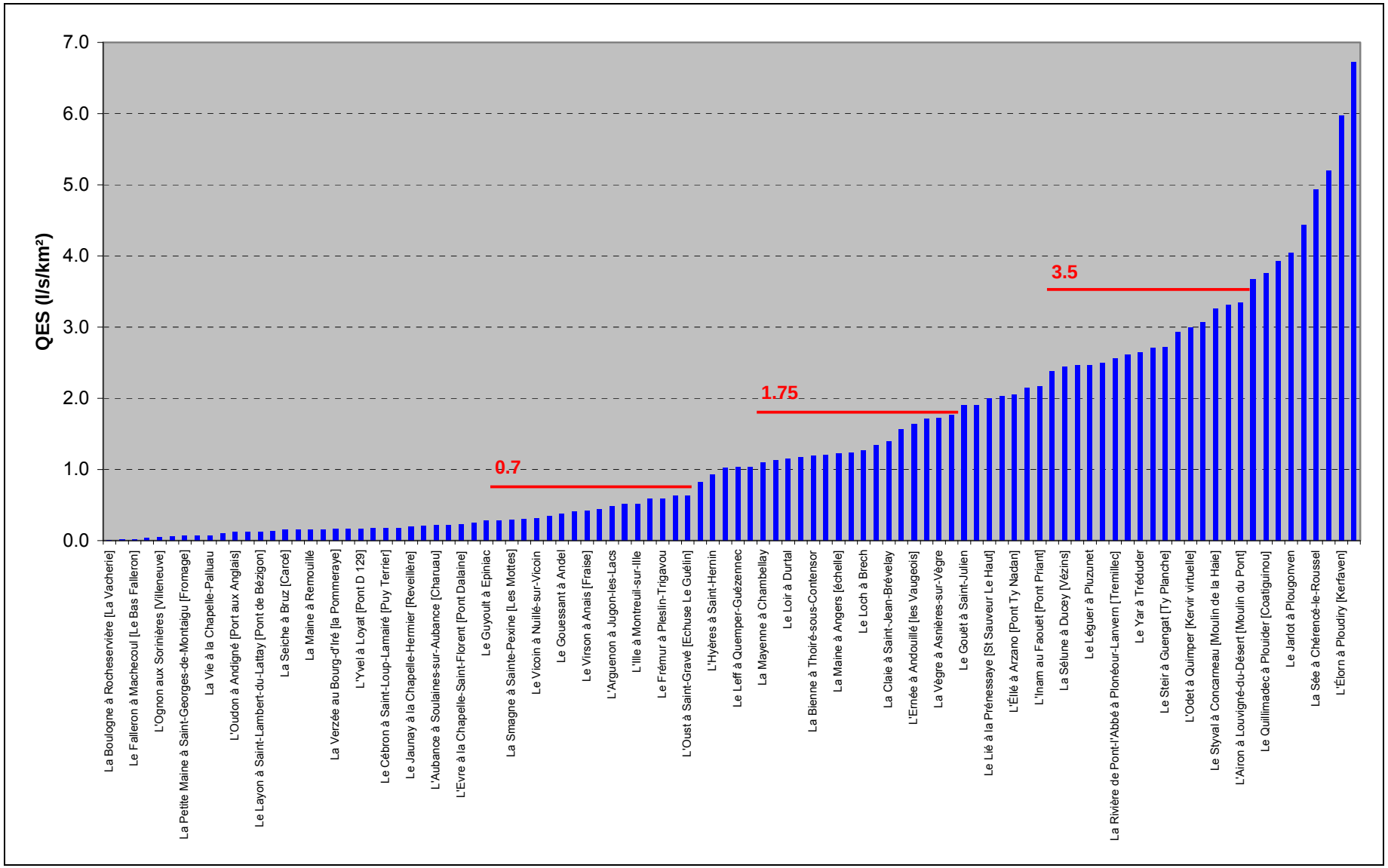


Illustration A5 - Classement de 100 bassins en fonction du QES (Bretagne et Pays-de-la-Loire)

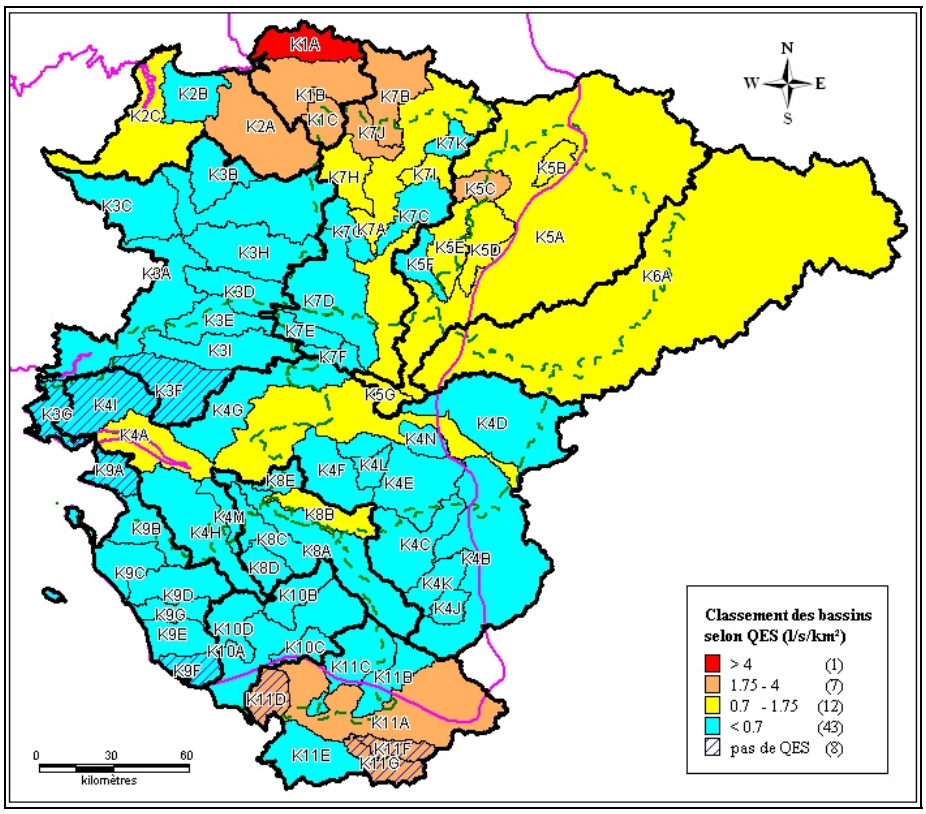


Illustration A6 - Classement des entités selon les valeurs de QES (71 entités NV2 avant assemblage)

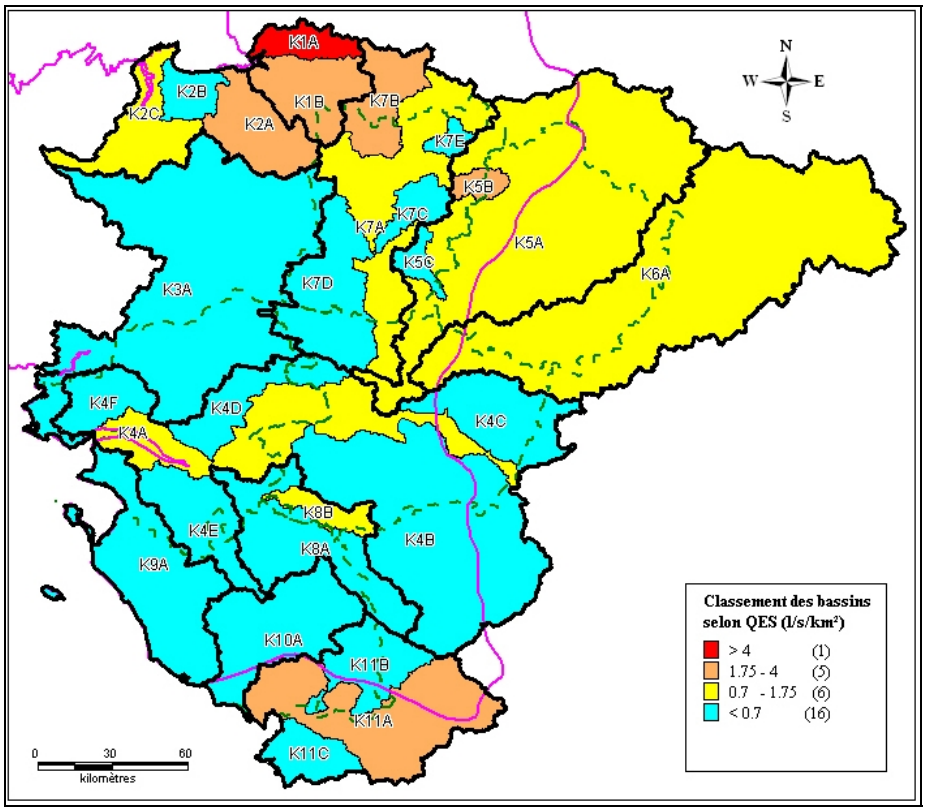


Illustration A7 - Classement des entités selon les valeurs de QES (28 entités NV2 après assemblage)

En intégrant les résultats des bassins de Bretagne (63 bassins Pays-de-la-Loire+37 bassins Bretagne, cf. illustration A5), **les bassins ont ainsi été classés selon 4 classes de QES** (<0.7, (≤0.7-1.75<), (≤1.75-3.5<), ≥3.5 l/s/km²).

Les bassins contigus (avec limite géographique en commun) se situant dans la même classe et dans le même bassin NV1 ont été rassemblés. Les 8 bassins NV2 sans QES ont été associés à l'une de ces classes par similitude avec un bassin voisin comportant des caractéristiques proches (pluviométrie moyenne annuelle, granites, schistes, formations métamorphiques). Ils ont donc également été rassemblés.

27 entités NV2 de socle ont ainsi été obtenues, dont 4 qui sont situés en dehors des Pays-de-la-Loire et 1 qui borde légèrement la région (superficie des 23 entités régionales de 87 à 7 193 km^2, après découpage grossier avec la limite du domaine sédimentaire). Ces entités ont été codifiées et les colonnes « QES » et « station » ont été renseignées. Le tableau multi-échelles a également été complété.

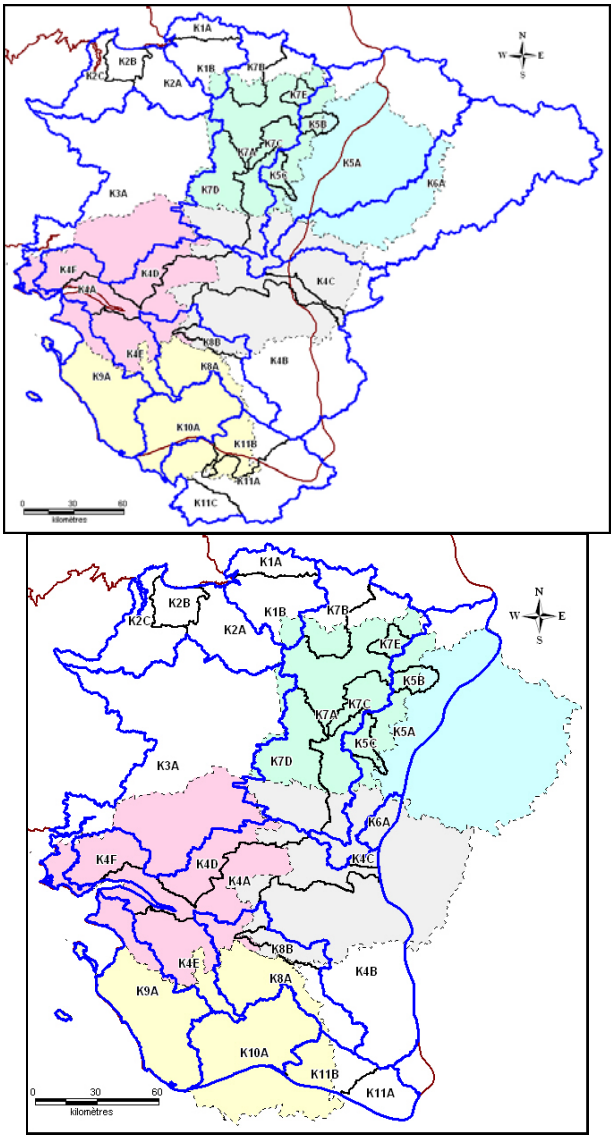


Illustration A8 - Entités de socle de niveau NV2 (région Pays-de-la-Loire)
(avant et après découpage grossier avec la limite des formations sédimentaires)

4. ENTITÉS NV3 DU SOCLE

4.1. Découpage des entités NV3

Les entités NV3 correspondent aux sous-secteurs hydrographiques de la BD Carthage (sous-bassins hydrologiques) inclus dans les entités NV2.

Certains sous-secteurs ont été regroupés selon des critères de superficie (exemple : la Vaudelle et l'Orthe, entité NV2 K5B) et de continuité des cours d'eau (exemples : Sèvre Nantaise et Niortaise, Loir, Loire, Mayenne, Sarthe, Vendée, Lay…). On rappelle que certaines entités NV2 ont été constituées en séparant certains affluents des principaux cours d'eau en utilisant les zones hydrographiques de la BD Carthage (exemples : de l'Aisne pour la Mayenne (entité NV2 K7E), et de la Vaige pour la Sarthe (entité NV2 K5C)). Pour ces entités élémentaires, les entités NV3 et NV2 sont identiques.

49 entités NV3 de socle ont été obtenues (cf. illustration A9), dont 7 qui sont situés en dehors des Pays-de-la-Loire et 1 qui borde légèrement la région (superficie des 42 entités régionales de 87 à 3 930 km^2, après découpage grossier avec la limite du domaine sédimentaire). Ces entités ont été codifiées et le tableau multi-échelles a été complété.

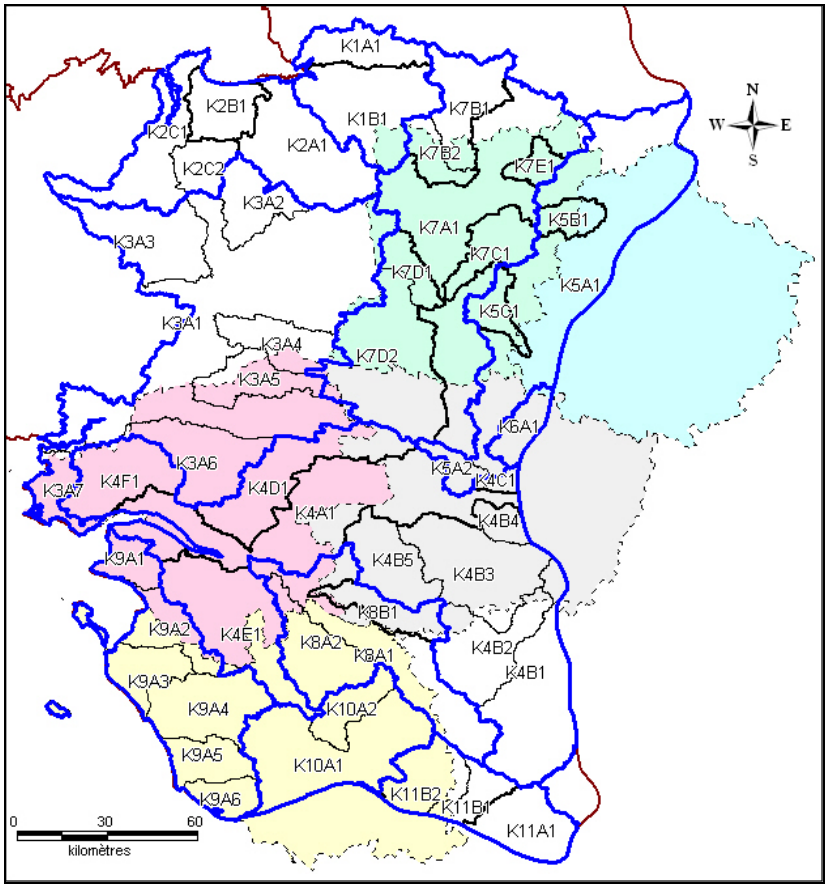


Illustration A9 - Entités de socle de niveau NV3 (région Pays-de-la-Loire)

Sur cette figure, c'est l'ancienne codification qui apparaît (ex: K13E1) le lien avec la codification nationale se fait comme suit: KxEy est remplacé par 250xE0y si x<9 et pour x >9, KxEy est remplacé par 260xE0y par exemple (on ajoute x à 250):

K5A2 devient 255A02 et K11B11 devient 261B01

4.2. Caractérisation de la géologie et de la nature des entités NV3

Le niveau NV3 est ensuite renseigné en prenant en compte les différentes formations géologiques et leurs potentialités aquifères.

La caractérisation des entités au niveau NV3 a nécessité 4 étapes de traitement détaillées ci-dessous.

4.2.1. Préparation des contours géologiques au 1/50 000

Les cartes géologiques harmonisées des 5 départements de Pays-de-la-Loire (contours précis à l'échelle du 1/50 000) et les notices des cartes géologiques au 1/50 000 ont été prises en compte.

Dans chaque carte harmonisée, tous les contours des formations de socle ont été sélectionnés (formations de socle : CODE>94 pour la Loire-Atlantique, CODE≥130 pour la Mayenne et CODE≥100 pour la Vendée ; altérites : CODE=60 à 64 pour le 44, CODE=38-607-608 pour le 53 et CODE=32 à 34 pour le 85). Les contours alluviaux et sédimentaires ne sont pas traités.

Avec les entités de niveau NV3, un recouvrement peut exister : quand elles existent, les altérites sont situées au-dessus de l'horizon fissuré des roches de socle (ces deux couches sont potentiellement aquifères). Comme ces altérites n'ont été levées que sur certaines cartes géologiques et sur la base de connaissances anciennes hétérogènes (cf. illustration A10), ces formations ne peuvent faire l'objet d'un traitement abouti au niveau NV3.

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

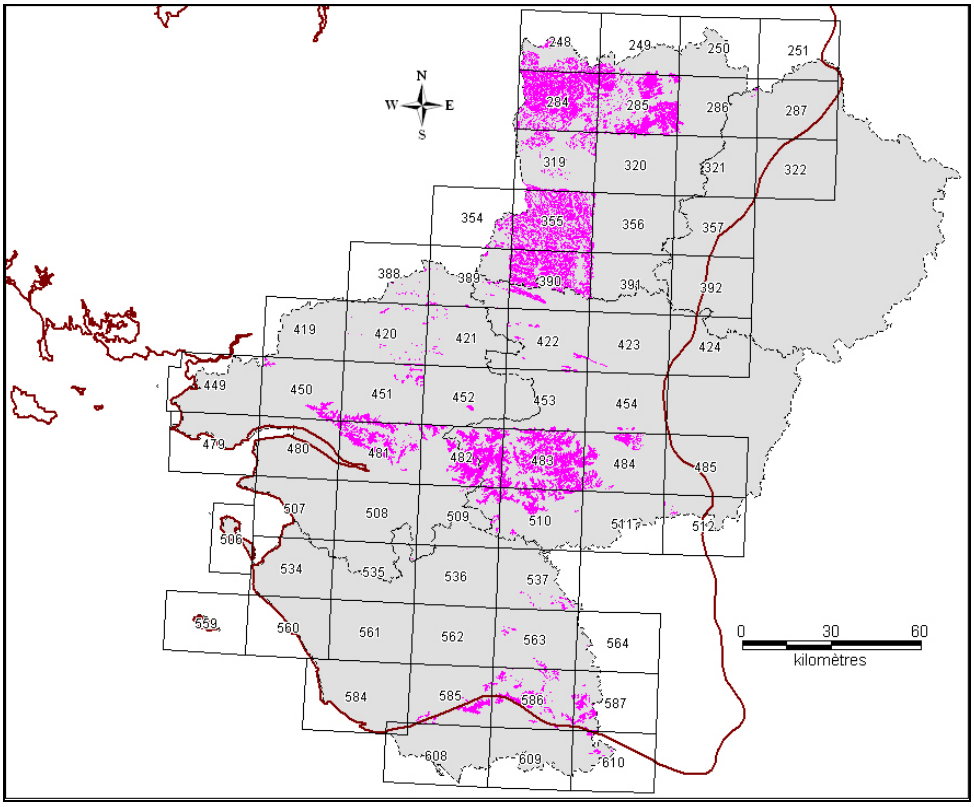


Illustration A10 - Cartographie des altérites sur les départements de la région Pays-de-la-Loire

4.2.2. Utilisation de la carte géologique synthétique au 1/250 000 et caractérisation de la nature aquifère des formations géologiques

143 formations géologiques de socle distinguées sur les départements 44-49-53-72-85 ont été sélectionnées.

Ces formations géologiques (champ FORMATION_MASSIF_SERIE) appartiennent à 43 ensembles lithostratigraphiques et tectono-métamorphiques, appelés « Unités ou Batholites » (champ UNITE_BATHOLITE). Ces ensembles sont situés dans 7 segments de croûte terrestre, appelés « Domaines » (champ DOMAINE), qui ont suivi des évolutions paléogéographique et paléotectonique communes. Cet assemblage est consultable dans le tableau A11 ci-après.

Au niveau de la délimitation des contours géologiques qui permettent de caractériser les entités NV3, les Unités ou Batholites seront considérées comme les entités de base.

Les forages de la Banque du Sous-Sol (BSS) implantés sur la région Pays-de-la-Loire en zone de socle et renseignés par le débit instantané obtenu en fin de foration (4 136 forages) ont été extraits. Ces forages ont été superposés sur les 143 formations géologiques de socle de la carte au 1/250 000.

52 formations ont une superficie suffisante pour être renseignées par au moins 20 forages (3 292 forages sont utilisés).

A l'aide des informations des forages (profondeur et débit instantané de l'ouvrage), des statistiques simples sont établies et chaque formation est caractérisée par :

- le pourcentage de forages ayant fourni un débit instantané au moins égal à 10 m^3/h (critère considéré comme une image des probabilités de succès),
- débit moyen du quartile supérieur, ou moyenne des débits des 25 % « meilleurs forages » (paramètre représentatif de la perméabilité des axes de drainage souterrain),
- un indice global défini par le produit des deux paramètres précédents,
- et un indice de productivité défini par le rapport : débit moyen des forages sur profondeur moyenne des forages (débit instantané moyen par mètre foré).

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

Sur 14 formations d'extension interrégionale (régions Pays-de-la-Loire et Bretagne), les statistiques ont été approfondies grâce à 2 144 forages bretons.

L'illustration A12 présente les résultats de ces statistiques pour chaque formation géologique rencontrée en région Pays-de-la-Loire.

Domaines (DOMAINE)	Unités (UNITE_BATHOLITE)	Formations (FORMATION_MASSIF_SERIE)	Codes carte harmonisée 44	Codes carte 85
Domaine cadomien normano-breton (St Malo-Fougères)	BATHOLITE MANCELLIEN	Massifs de Vire, Athis, Avranches, la Ferté-Macé,		
	UNITE DU MAINE	Formation de Sainte-Suzanne		
		Formation de May		
		Formation de Voutré		
		Formation des Ampélites		
		Formation des poudingues et arkoses		
		Formation des schistes et calcaires		
		Formation du Grès armoricain_MAINE		
		Formation du Pissot		
		Formation du Pont-de-Caen		
		Formations de Blandouët et de Sillé		
		Formations de Pissot et de May		
	UNITE DE FOUGERES	Formations de Fougères et de Granville		
		Formations de Fougères et Granville		
	CHAMP FILONIEN MANCELLIEN	Champ mancellien		
	sans nom	Massif d'Alençon		
		Massifs de Trégomar, Brée, Ernée et Louzes		
Domaine varisque médio-armoricain oriental (Laval)	UNITE DE LAVAL	Formation d'Andouillé		
		Formation de l'Huisserie		
		Formation de Laval		
		Formation de Saint-Germain-sur-Ille		
		Formation de Saint-Pierre-la-Cour		
		Formation des Calcaires de Laval		
		Formation des Calcaires de Sablé		
		Formation du Grès armoricain_LAVAL		
		Formations d'Andouillé et de Saint-Germain	ci-dessus Andouillé	
		Formations de Gahard, Saint Céneré et Montguyon		
		Formations de la Lande-Murée et du Val		
	UNITE DU MENEZ-BELAIR	Formation de Saint-Germain-sur-Ille	(en double avec Unité Laval)	
		Formations de la Lande-Murée et du Val	(en double avec Unité Laval)	
		Groupe d'Eréac		
	sans nom	Filons et stocks du Bassin de Laval		
Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes)	UNITE DE BRETAGNE CENTRALE	Formation de la Mayenne	LITHOTEC	
	UNITE DU SUD DE RENNES	Formation de Pont-Réan	136-137-141-142	
		Formation de Riadan-Renazé	122-123-126	
		Formation de Traveusot	127-128	
		Formation du Grès armoricain_SUD_RENNES	130-132-133	
		Formations de la Chesnaie et de Poligné	113-115-116-117-118-119-120	
	sans nom	Massifs du Pertre et de Craon	hors 44	
		Champs d'Argentré et d'Origné	hors 44	
Domaine varisque ligéro-sénan (Quimper-Angers)	UNITE DE SAINT-JULIEN DE VOUVANTES	Formation de la Pile et la Boserie	LITHOTEC	
		Formations d'Erbray, de Vern et d'Angers		
		Formations de Renac et de Bois-Neuf		
	UNITE DES LANDES DE LANVAUX	Formation d'Abbaretz	???	
		Formation de Bains-sur-Oust	211-212-215-217	
		Formation du Grand Auverné	207-208-210	
		Formation du Houx	200-202	
	UNITE DE SAINT MARS-LA-JAILLE	Formation de Redon	LITHOTEC	
		Formation de Saint-Perreux		
	UNITE DE SAINT-GEORGES-SUR-LOIRE	Formation de Fégréac	LITHOTEC	
		Formation de la Romme		
	(Unité de Péaule)	Formation de Béganne	261-262-263-264	
		Formation de Saint-Dolay	265!	
		Formation du Guerno	260-265!	
	sans nom	Massif de Nozay	162-163-165	
		Massifs de Bécon et de Saint-Clément		
		Massif de Lanvaux		
Domaine varisque nantais (Nantes-Cholet)	SILLON HOUILLER DE BASSE-LOIRE	Formation de Montjean-sur-Loire	LITHOTEC	
		Formation de la Minière	hors 44	
		Formation de la Pierre-Carrée	hors 44	
	UNITE DES MAUGES	Formation de Beaupréau	hors 44	
		Massif de Chemillé	hors 44	
		Formation de Drain	LITHOTEC	
		Formation des Mauges+Formation du Hâvre		
		Formation du Landreau		
	UNITE DU BASSIN D'ANCENIS	Formation d' Ancenis, faciès "Culm"	LITHOTEC	
		Formation de Châteaupanne		
		Formation du Tombeau-Leclerc	hors 44	
	UNITE DE CHAMPTOCEAUX	Formation de Champtoceaux	LITHOTEC	
		Formation de Saint-Mars-du-Désert		
		Formation des Folies-Siffait		
		Formation du Cellier		
	UNITE DE MAUVES-SUR-LOIRE	Formation de Mauves-sur-Loire	LITHOTEC	
	UNITE DE CHOLET-THOUARS	Formation de Cléré-sur-Layon		
		Massif de Cholet		
		Massif de Thouars		
	MASSIFS DU CHOLETAIS	Massif de Moulins-les-Aubiers	293	
		Massif de Coron-Vezins	hors 44	hors 85
		Massifs de Saint-André et Saint-Christophe	hors 44	hors 85
		Massifs de Saint-Léger et Montfaucon	hors 44	hors 85
		Massifs de Trémentines et la Renaudière	hors 44	hors 85
		Massifs du Pallet et du Châtillonnais	294-295	116-415
	UNITE DE LA TESSOUALLE	Formation de la Tessouale	hors 44	175-176
	UNITE DU HAUT-BOCAGE	Formation du Haut-Bocage	LITHOTEC	LITHOTEC+140-413
	MASSIFS DU HAUT-BOCAGE	Massif de Moncoutant	hors 44	127
	(Unité d'Orvault-Mortagne)	Massif de Mortagne	290-291	103I-106
		Massif de Orvault-Mortagne-Châteaumur	285-286-287-288-289	100-101-102-103I-105-107-108-109
	sans nom	Massif de la Pommeraye	282-283	
		Massif de Mésanger	280-281	
		Massif de Pouzauges	hors 44	139-416
		péridotites, serpentinites	335	
Domaine sud-armoricain breton (Quimper-Vannes)	ORTHOGNEISS SUD-ARMORICAINS	Formation de Chauvé-l'Angle-Mervent	466-468	278-279-280-281-284-285
Domaine sud-armoricain vendéen (St Nazaire-Niort)		Formation de Nizon-Quimperlé-Tréauray-Roguedas-Arz	rien ???	
		Formation du Pellerin-Montaigu	396-397-398-399-400	209
		Formations de Pouldohan et Pénestin	île Groix, hors 44	
	UNITE DE SAINT-GILLES ET DE LA VILAINE	Formation de l'Aiguillon	petit, hors 44	300
		(Formation de Chauvé-l'Angle-Mervent)	(ORTHOGNEISS SUD-ARMORICAINS)	278-279-280-281-284-285
		Formation de la Vilaine	380-382-383-384-386-387-388-389-391-392-401	hors 85
		Formation de Saint-Gilles	447-448-449-451-452-453-454-455-456-458-508-512	302-303-304-305-306-307
		Formation des Porphyroïdes	443-444-446	294-295-296-313-419-431-446
		Formation du Fenouiller	petit, hors 44	301
	UNITE DE SAINT-NAZAIRE	Formation d'Albert	hors 44	365
		Formation de Muzillac	403-404-405-406-407-408-409-410-411-412-413-414-415	hors 85
		Formation de Saint-Martin-des-Noyers	Unité de Saint-Martin-des-Noyers	Unité de Saint-Martin-des-Noyers (286-287-288)
		Formation du Morbihan	402	hors 85
	UNITE DE GROIX-CENE	Formation de l'Ile de Groix	île Groix, hors 44	
		Formation du Bois de Cené	LITHOTEC	LITHOTEC
Domaine sud-armoricain breton (Quimper-Vannes)	sans nom	Massif de Carnac	372	
		Massif de Saint-Père-en-Retz	374-375-376-377-378	181-182
		Massif de Sainte-Anne-d'Auray	373	
	(Granite de Guérande)	Massifs de Pont-l'Abbé, Ploemeur, Quiberon et Guér	370-371	
Domaine sud-armoricain vendéen (St Nazaire-Niort)	UNITE DES ESSARTS	Formation de la Compointerie	LITHOTEC	LITHOTEC
		Formation des Essarts		
	BATHOLITE DE LA ROCHE-SUR-YON	Massifs de Aizenay, Legé et Avrillé	509-510-511	LITHOTEC
		Massifs de Belleville et Bournezeau	hors 44	
		Massifs de Poiré-sur-Vie et Aubigny	hors 44	
	UNITE DE LA ROCHE-SUR-YON	Formation d'Olonne	hors 44	LITHOTEC=Unités des Sables-d'Olonnes et de La Roche-sur-Yon+178-179
		Formation de Grosbreuil	hors 44	358-359-361-363-420
		Formation de Saint-Julien-des-Landes	hors 44	314-315-316-317-318-319-320-321-322-421-432-433
		Formation de Saint-Martin-de-Brem	hors 44	325-326
		Groupe de Brétignolles	hors 44	LITHOTEC=Unité de Brétignolles
		Groupe de Nieul-le-Dolent	hors 44	LITHOTEC sauf 365
	UNITE DE PAIMBOEUF-MONTAIGU	Formation de Montaigu	437	208-407
		(Formation du Pellerin-Montaigu)	(ORTHOGNEISS SUD-ARMORICAINS)	
		Formation de Paimboeuf	436	207
		Formation de Saint-Paul-en-Pareds	435	206
	UNITE DE CHANTONNAY	Formation de la Châtaigneraie	hors 44	LITHOTEC
		Formation de la Meilleraie	hors 44	
		Formation de la Vildé	petit, hors 44	
		Formations de Bourgneuf pro parte et des Gerbaudiè	489-490-491	
		Formations de Marillet, Puyhardy et Roc-Cervelle	hors 44	
		Formations de Sigournais et de Bourgneuf pro parte	hors 44	
		Groupe de Réaumur	hors 44	
	SILLON HOUILLER VENDEEN	Formation de Saint-Laurs	hors 44	LITHOTEC
		Formation de Vouvant	434	
	UNITE DES SABLES D'OLONNE	Formation de l'Ile d'Yeu (assemblage)	hors 44	LITHOTEC
		Formation de Sauveterre (assemblage)	hors 44	
		Formation des Sables d'Olonne	petit, hors 44	
	sans nom	Massif de Bazoges-en-Pareds	hors 44	185
		Massifs de Breuil-Barret	hors 44	183
		Massifs de l'Ortay et du Bignon	430-431	126-180
		péridotites, serpentinites	465	210
		Stocks de la Mouzinière et de l'Aurière	hors 44	327

Illustration A11 - Domaines, unités et formations géologiques à 1/250 000 sur les départements 44-49-53-72-85 (page 1/2)

Domaines (DOMAINE)	Unités (UNITE_BATHOLITE)	Formations (FORMATION_MASSIF_SERIE)	Codes carte 53	Codes carte 49	Codes carte 72
Domaine cadomien normano-breton (St Malo-Fougères)	BATHOLITE MANCELLIEN	Massifs de Vire, Athis, Avranches, la Ferté-Macé,	LITHOTEC		308-309-310-312
	UNITE DU MAINE	Formation de Sainte-Suzanne	LITHOTEC :		282
		Formation de May	hors 53		
		Formation de Voutré	Domaine mancellien 136-141!-142(2/3)!		276-279-280-281-285 à 297
		Formation des Ampélites	Synclinaux paléozoïques 143!-145!-160-161-304		252-254 !!!
		Formation des poudingues et arkoses	Bassin de Laval et synclinaux paléozoïques nord-armoricains 130-132!-269!-548!		304
		Formation des schistes et calcaires	et 158		298-299-300-301-302-303
		Formation du Grès armoricain_MAINE			267-270 !!!
		Formation du Pissot	hors 53		
		Formation du Pont-de-Caen			257
		Formations de Blandouët et de Sillé			271-273-274-275
		Formations de Pissot et de May			259 et 260-263-264 !!!
	UNITE DE FOUGERES	Formations de Fougères et de Granville	LITHOTEC (Domaine mancellien 164-332)		313-316-319 à 325
		Formations de Fougères et Granville			315
	CHAMP FILONIEN MANCELLIEN	Champ mancellien	LITHOTEC		
	sans nom	Massif d'Alençon			215
		Massifs de Trégomar, Brée, Ernée et Louzes	592-594-596		329
Domaine varisque médio-armoricain oriental (Laval)	UNITE DE LAVAL	Formation d'Andouillé	141!-142(1/3)!		263-264 !!!
		Formation de l'Huisserie	520-523-524-526-528-529-530-531-532-533-534-535-536!-537-613		224-225-226-228-229
		Formation de Laval	508-509-510-512-513-514-515-611-612		216-217
		Formation de Saint-Germain-sur-Ille	548		260 !!!
		Formation de Saint-Pierre-la-Cour	506-507		hors 72
		Formation des Calcaires de Laval	516-517-518-521		
		Formation des Calcaires de Sablé	519		220
		Formation du Grès armoricain_LAVAL	143!-145!		267-270 !!!-268
		Formations d'Andouillé et de Saint-Germain	ci-dessus Andouillé		hors 72
		Formations de Gahard, Saint Céneré et Montguyon	266-539		235-236-237-238-239
		Formations de la Lande-Murée et du Val	131-132!-267!-269!		250-251 et 252-254 !!!
	UNITE DU MENEZ-BELAIR	Formation de Saint-Germain-sur-Ille			
		Formations de la Lande-Murée et du Val	132!-267!		
		Groupe d'Eréac	536!		
	sans nom	Filons et stocks du Bassin de Laval	191!-578!		
Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes)	UNITE DE BRETAGNE CENTRALE	Formation de la Mayenne	LITHOTEC et 164!-577	LITHOTEC	319-320-321
	UNITE DU SUD DE RENNES	Formation de Pont-Réan	555-558	316-318	
		Formation de Riadan-Renazé	269!-549	305-306	258
		Formation de Traveusot	550	308-309	
		Formation du Grès armoricain_SUD_RENNES	143!-145!-551-553-554	310-311-312-313-314-315	
		Formations de la Chesnaie et de Poligné	132!-541-544-545	299-301-302-303	
	sans nom	Massifs du Pertre et de Craon	581-582-609		
		Champs d'Argentré et d'Origné	191!		
Domaine varisque ligéro-sénan (Quimper-Angers)	UNITE DE SAINT-JULIEN DE VOUVANTES	Formation de la Pile et la Boserie		LITHOTEC	
		Formations d'Erbray, de Vern et d'Angers			
		Formations de Renac et de Bois-Neuf			
	UNITE DES LANDES DE LANVAUX	Formation d'Abbaretz			
		Formation de Bains-sur-Oust		265-266-267-268-269	
		Formation du Grand Auverné		270-271	
		Formation du Houx		272-273	
	UNITE DE SAINT MARS-LA-JAILLE	Formation de Redon		hors 49	
		Formation de Saint-Perreux		LITHOTEC	
	UNITE DE SAINT-GEORGES-SUR-LOIRE	Formation de Fégréac		LITHOTEC	
		Formation de la Romme			
	(Unité de Péaule)	Formation de Béganne			
		Formation de Saint-Dolay			
		Formation du Guerno			
	sans nom	Massif de Nozay			
		Massifs de Bécon et de Saint-Clément		242-243-244	
		Massif de Lanvaux			
Domaine varisque nantais (Nantes-Cholet)	SILLON HOUILLER DE BASSE-LOIRE	Formation de Montjean-sur-Loire		LITHOTEC	
		Formation de la Minière			
		Formation de la Pierre-Carrée			
	UNITE DES MAUGES	Formation de Beaupréau		LITHOTEC	
		Massif de Chemillé			
		Formation de Drain			
		Formation des Mauges+Formation du Hâvre			
		Formation du Landreau			
	UNITE DU BASSIN D'ANCENIS	Formation d' Ancenis, faciès "Culm"		LITHOTEC	
		Formation de Châteaupanne			
		Formation du Tombeau-Leclerc			
	UNITE DE CHAMPTOCEAUX	Formation de Champtoceaux		LITHOTEC	
		Formation de Saint-Mars-du-Désert			
		Formation des Folies-Siffait			
		Formation du Cellier			
	UNITE DE MAUVES-SUR-LOIRE	Formation de Mauves-sur-Loire			
	UNITE DE CHOLET-THOUARS	Formation de Cléré-sur-Layon		197-198-199	
		Massif de Cholet		181-183-184	
		Massif de Thouars		186-187-188-189-190-196	
	MASSIFS DU CHOLETAIS	Massif de Moulins-les-Aubiers		LITHOTEC	
		Massif de Coron-Vezins			
		Massifs de Saint-André et Saint-Christophe			
		Massifs de Saint-Léger et Montfaucon			
		Massifs de Trémentines et la Renaudière			
		Massifs du Pallet et du Châtillonnais			
	UNITE DE LA TESSOUALLE	Formation de la Tessouale		LITHOTEC	
	UNITE DU HAUT-BOCAGE	Formation du Haut-Bocage			
	MASSIFS DU HAUT-BOCAGE	Massif de Moncoutant			
	(Unité d'Orvault-Mortagne)	Massif de Mortagne		134-135-136	
		Massif de Orvault-Mortagne-Châteaumur		132-133	
	sans nom	Massif de la Pommeraye			
		Massif de Mésanger			
		Massif de Pouzauges			
		péridotites, serpentinites			
Domaine sud-armoricain breton (Quimper-Vannes)	ORTHOGNEISS SUD-ARMORICAINS	Formation de Chauvé-l'Angle-Mervent			
Domaine sud-armoricain vendéen (St Nazaire-Niort)		Formation de Nizon-Quimperlé-Tréauray-Roguedas-Arz			
		Formation du Pellerin-Montaigu			
		Formations de Pouldohan et Pénestin			
	UNITE DE SAINT-GILLES ET DE LA VILAINE	Formation de l'Aiguillon			
		(Formation de Chauvé-l'Angle-Mervent)			
		Formation de la Vilaine			
		Formation de Saint-Gilles			
		Formation des Porphyroïdes			
		Formation du Fenouiller			
	UNITE DE SAINT-NAZAIRE	Formation d'Albert			
		Formation de Muzillac			
		Formation de Saint-Martin-des-Noyers			
		Formation du Morbihan			
	UNITE DE GROIX-CENE	Formation de l'Ile de Groix			
		Formation du Bois de Cené			
Domaine sud-armoricain breton (Quimper-Vannes)	sans nom	Massif de Carnac			
		Massif de Saint-Père-en-Retz			
		Massif de Sainte-Anne-d'Auray			
	(Granite de Guérande)	Massifs de Pont-l'Abbé, Ploemeur, Quiberon et Guér			
Domaine sud-armoricain vendéen (St Nazaire-Niort)	UNITE DES ESSARTS	Formation de la Compointerie			
		Formation des Essarts			
	BATHOLITE DE LA ROCHE-SUR-YON	Massifs de Aizenay, Legé et Avrillé			
		Massifs de Belleville et Bournezeau			
		Massifs de Poiré-sur-Vie et Aubigny			
	UNITE DE LA ROCHE-SUR-YON	Formation d'Olonne			
		Formation de Grosbreuil			
		Formation de Saint-Julien-des-Landes			
		Formation de Saint-Martin-de-Brem			
		Groupe de Brétignolles			
		Groupe de Nieul-le-Dolent			
	UNITE DE PAIMBOEUF-MONTAIGU	Formation de Montaigu			
		(Formation du Pellerin-Montaigu)			
		Formation de Paimboeuf			
		Formation de Saint-Paul-en-Pareds			
	UNITE DE CHANTONNAY	Formation de la Châtaigneraie			
		Formation de la Meilleraie			
		Formation de la Vildé			
		Formations de Bourgneuf pro parte et des Gerbaudiè			
		Formations de Marillet, Puyhardy et Roc-Cervelle			
		Formations de Sigournais et de Bourgneuf pro parte			
		Groupe de Réaumur			
	SILLON HOUILLER VENDEEN	Formation de Saint-Laurs			
		Formation de Vouvant			
	UNITE DES SABLES D'OLONNE	Formation de l'Ile d'Yeu (assemblage)			
		Formation de Sauveterre (assemblage)			
		Formation des Sables d'Olonne			
	sans nom	Massif de Bazoges-en-Pareds			
		Massifs de Breuil-Barret			
		Massifs de l'Ortay et du Bignon			
		péridotites, serpentinites			
		Stocks de la Mouzinière et de l'Aurière			

Illustration A11 - Domaines, unités et formations géologiques à 1/250 000 sur les départements 44-49-53-72-85 (page 2/2)

	Statistiques sur la région Pays-de-la-Loire					Statistiques sur les régions Bretagne et Pays-de-la-Loire				
Formation géologique 1/250 000	Nombre de forages	% de forages ≥ 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	Q/P moyen (m3/h/m)	Nombre de forages	% de forages ≥ 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	Q/P moyen (m3/h/m)
Formation de Bains-sur-Oust	29	24.1%	22.4	5.4	0.129	122	23.0%	22.8	5.2	0.155
Formation de Champtoceaux	51	11.8%	10.7	1.3	0.071					
Formation de Chauvé-l'Angle-Mervent	35	2.9%	6.5	0.2	0.067					
Formation de Fégréac	15	-	-	-	-	21	23.8%	16.4	3.9	0.105
Formation de Grosbreuil	22	13.6%	14.8	2.0	0.094					
Formation de la Mayenne	153	40.5%	35.8	14.5	0.241	932	31.4%	21.2	6.7	0.142
Formation de la Tessouale	187	6.4%	12.7	0.8	0.103					
Formation de Laval	25	36.0%	23.9	8.6	0.166					
Formation de l'Huisserie	24	37.5%	32.2	12.1	0.161					
Formation de l'Ile d'Yeu et de Sauveterre	25	4.0%	8.4	0.3	0.070					
Formation de Mauves-sur-Loire	113	10.6%	10.6	1.1	0.082					
Formation de Montaigu	32	6.3%	11.3	0.7	0.101					
Formation de Muzillac	24	16.7%	20.7	3.4	0.127	111	15.3%	16.1	2.5	0.114
Formation de Paimboeuf	27	11.1%	9.1	1.0	0.074					
Formation de Saint-Germain-sur-Ille	14	-	-	-	-	70	22.9%	24.6	5.6	0.131
Formation de Saint-Gilles	93	11.8%	13.1	1.5	0.079					
Formation de Saint-Martin-des-Noyers	41	14.6%	17.6	2.6	0.168					
Formation de Saint-Paul	140	7.1%	9.4	0.7	0.088					
Formation de Saint-Perreux	16	-	-	-	-	40	20.0%	15.8	3.2	0.112
Formation de Traveusot	10	-	-	-	-	81	21.0%	14.4	3.0	0.102
Formation des Calcaires de Laval	21	52.4%	113.0	59.2	0.583					
Formation des Calcaires de Sablé	21	42.9%	52.7	22.6	0.340					
Formation des Essarts	91	7.7%	8.2	0.6	0.071					
Formation des Mauges+Formation du Hâvre	152	15.1%	13.7	2.1	0.090					
Formation des Porphyroïdes	55	14.5%	12.9	1.9	0.074					
Formation des schistes et calcaires	36	63.9%	72.8	46.5	0.470					
Formation du Grand Auverné	19	-	-	-	-	90	17.8%	12.7	2.3	0.102
Formation du Grès armoricain_SUD_RENNES	15	-	-	-	-	238	33.6%	33.0	11.1	0.210
Formation du Haut-Bocage	123	9.8%	11.7	1.1	0.100					
Formation du Landreau	36	8.3%	13.2	1.1	0.096					
Formation du Pellerin-Montaigu	47	12.8%	12.8	1.6	0.097					
Formations de Bourgneuf pro parte et des Gerbaudiè	75	8.0%	9.0	0.7	0.063					
Formations de Fougères et de Granville	32	12.5%	11.7	1.5	0.097	295	36.6%	25.1	9.2	0.208
Formations de Fougères et Granville	126	34.9%	28.3	9.9	0.168	371	44.7%	34.7	15.5	0.221
Formations de Gahard, Saint Céneré et Montguyon	41	31.7%	31.7	10.0	0.174					
Formations de la Lande-Murée et du Val	32	9.4%	10.4	1.0	0.052	61	11.5%	12.2	1.4	0.070
Formations de Sigournais et de Bourgneuf pro parte	24	8.3%	9.2	0.8	0.061					
Groupe de Nieul-le-Dolent	135	24.4%	21.8	5.3	0.148					
Groupe de Réaumur	46	4.3%	8.4	0.4	0.076					
Massif de Cholet	65	13.8%	12.8	1.8	0.116					
Massif de Mortagne	37	5.4%	18.3	1.0	0.111					
Massif de Moulins-les-Aubiers	53	1.9%	9.2	0.2	0.065					
Massif de Orvault-Mortagne-Châteaumur	305	6.2%	9.6	0.6	0.063					
Massif de Pouzauges	82	11.0%	14.5	1.6	0.162					
Massif de Thouars	28	3.6%	4.2	0.2	0.036					
Massifs de Aizenay, Legé et Avrillé	52	21.2%	16.0	3.4	0.097					
Massifs de Belleville et Bournezeau	71	9.9%	19.5	1.9	0.108					
Massifs de l'Ortay et du Bignon	49	16.3%	18.0	2.9	0.128					
Massifs de Poiré-sur-Vie et Aubigny	70	20.0%	22.7	4.5	0.124					
Massifs de Pont-l'Abbé, Ploemeur, Quiberon et Guérande	19	-	-	-	-	58	13.8%	13.4	1.9	0.083
Massifs de Vire, Athis, Avranches, la Ferté-Macé,	236	40.3%	38.6	15.6	0.247	394	34.5%	33.5	11.6	0.206
Massifs du Pallet et du Châtillonnais	22	18.2%	10.0	1.8	0.084					

Illustration A12 - Résultats de l'approche statistique (région Pays-de-la-Loire)

La nature aquifère (ou pas) des formations a été déterminée en fonction des deux paramètres suivants : débit moyen du quartile supérieur et indice de productivité. Le tableau ci-dessous précise les gammes retenues.

	Classes	Qmoy meilleur 1/4 (m3/h)	Q/P moyen (m3/h/m)	Nature entité
	1	≥ 30	≥ 0.2	Unité aquifère
	2	20-30	0.14-0.2	Unité aquifère
	3	15-20	0.11-0.14	Unité semi-perméable
	4	11-15	0.09-0.11	Unité semi-perméable
	5	< 11	< 0.09	Unité imperméable

Illustration A13 - Nature des entités en fonction des gammes de débit moyen du quartile supérieur et d'indice de productivité

On peut nuancer le caractère « imperméable » de certaines unités. En effet, le travail mené ici consiste à caractériser la nature des aquifères de socle en comparaison avec les autres aquifères nationaux. La perméabilité des formations de socle est faible par rapport aux formations sédimentaires (bassin Parisien et Aquitain par exemple), néanmoins les formations notées ici « imperméables » peuvent fournir localement des débits instantanés supérieurs à 20-30 m^3/h.

Les résultats des formations renseignées par les forages (texte écrit en bleu dans le tableau des Domaines, Unités et Formations, illustration A11) montrent que :

- le comportement aquifère semble homogène au sein de 6 Unités (exemples : Unités de Fougères, de Chantonnay et Batholite de la Roche-sur-Yon) ;
- sur 12 Unités (exemples : Unités de Laval, du Sud de Rennes, de Péaule, d'Orvault-Mortagne, de St-Nazaire, et de Paimboeuf-Montaigu), les différences de comportement amènent à utiliser les formations géologiques comme contours géologiques permettant de caractériser les entités NV3 ;
- 15 Unités sont renseignées par une seule formation (exemples : Champ Filonien Mancellien, Unités de Bretagne Centrale, de la Tessouale, Batholite Mancellien, Massifs du Haut Bocage) ;
- pour les 10 Unités restantes, la nature aquifère (ou pas) est estimée soit à partir de la seule formation renseignant l'Unité (souvent la plus importante en superficie) soit par ressemblance lithologique avec une Unité voisine.

Enfin, pour chaque formation géologique ou Unité ou Batholite où il n'est pas possible de caractériser sa nature (absence de forage, ressemblance lithologique difficile à établir…), elle est indiquée comme « inconnue » (12 entités géologiques).

A l'issue de cette étape, 90 entités géologiques à 1/250 000 (22 Unités/Batholites et 68 formations) sont caractérisées par leur nature aquifère (ou pas).

Les résultats obtenus ont été comparés avec plusieurs études bibliographiques (Rapport BRGM 71 SGN 134 BPL, note BRGM SGR/PAL 83-20, Rapport BRGM R39643 et BRGM/RP-51633-FR, Rapport final BRGM/RP-53676-FR et notices des cartes géologiques à 1/50 000).

4.2.3. Création des entités géologiques à 1/50 000

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

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

Dans les cartes harmonisées du 44-49-53-85, le champ « LITHOTEC » permet de rassembler les contours en Unités ou Batholites. Ce champ n'existe pas sur la carte harmonisée du 72, il faut alors rechercher un par un les codes associés à chaque Unité ou Batholite.

Les formations de 12 Unités (de Laval, du Menez-Belair, du Sud de Rennes, des Landes de Lanvaux, de Péaule, de Cholet-Thouars, d'Orvault-Mortagne, de St-Gilles et de la Vilaine, de St-Nazaire, de Paimboeuf-Montaigu, de la Roche-sur-Yon et les Orthogneiss Sud-Armoricains), sont détaillées en recherchant leurs codes (champ « CODE », cf. illustration A11). Les filons et les altérites sont rattachés à chaque entité dans laquelle ils se trouvent. Pour finir, les entités des 5 départements de la région ont été assemblées.

De ce traitement résultent 90 entités géologiques à 1/50 000 (cf. illustration A14).

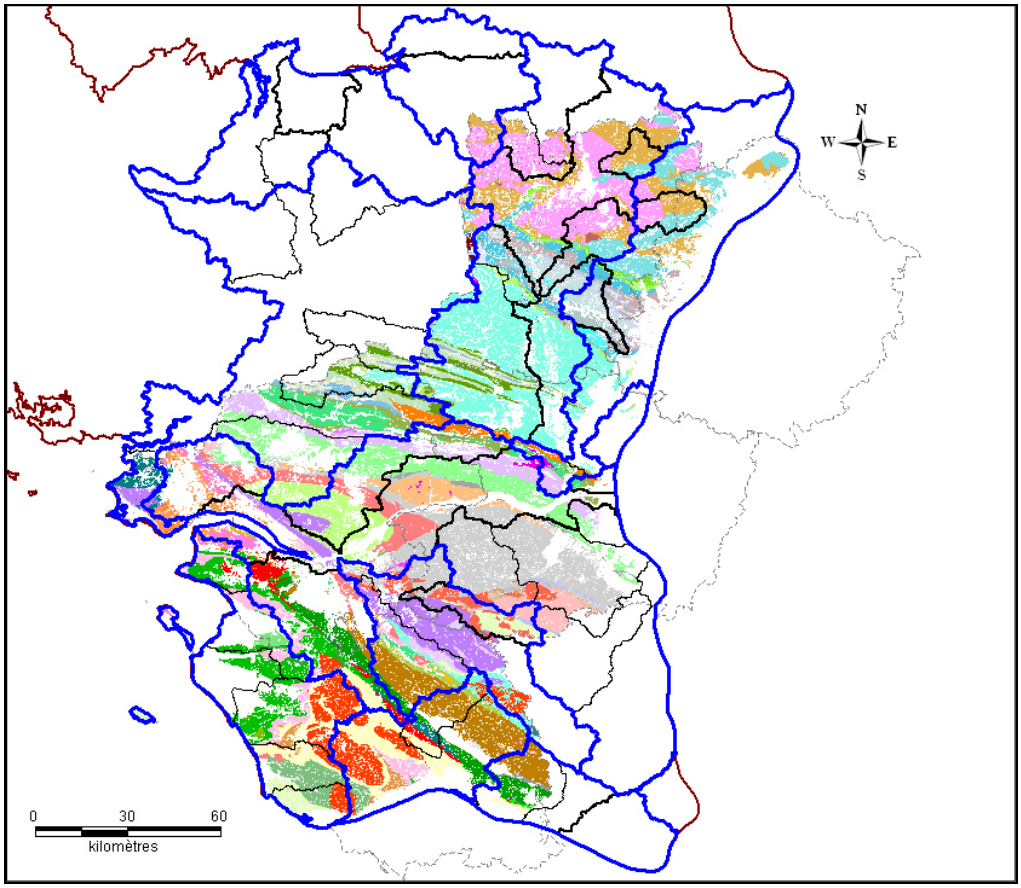


Illustration A14 - Entités géologiques sur les départements 44-49-53-72-85

4.2.4. Caractérisation des entités NV3 finalisées

Les 90 entités géologiques à 1/50 000 et les 49 bassins versants entités NV3 ont été utilisés.

Les pourcentages de superficie renseignée par les natures géologiques « aquifère, semi-perméable, imperméable et inconnue » ont été affectés à toutes les entités NV3 (injection de l'information hydrogéologique dans les bassins versants).

Remarque : des polygones étant non renseignés (exemple : absence de socle sous les alluvions), le total des pourcentages de chaque bassin n'atteint pas toujours les 100 %.

De la même façon, la lithologie des formations est affectée aux entités NV3 (injection de l'information géologie dans les bassins versants).

L'annexe 1-3 détaille et illustre le travail mené au cours des étapes de ce dernier traitement.

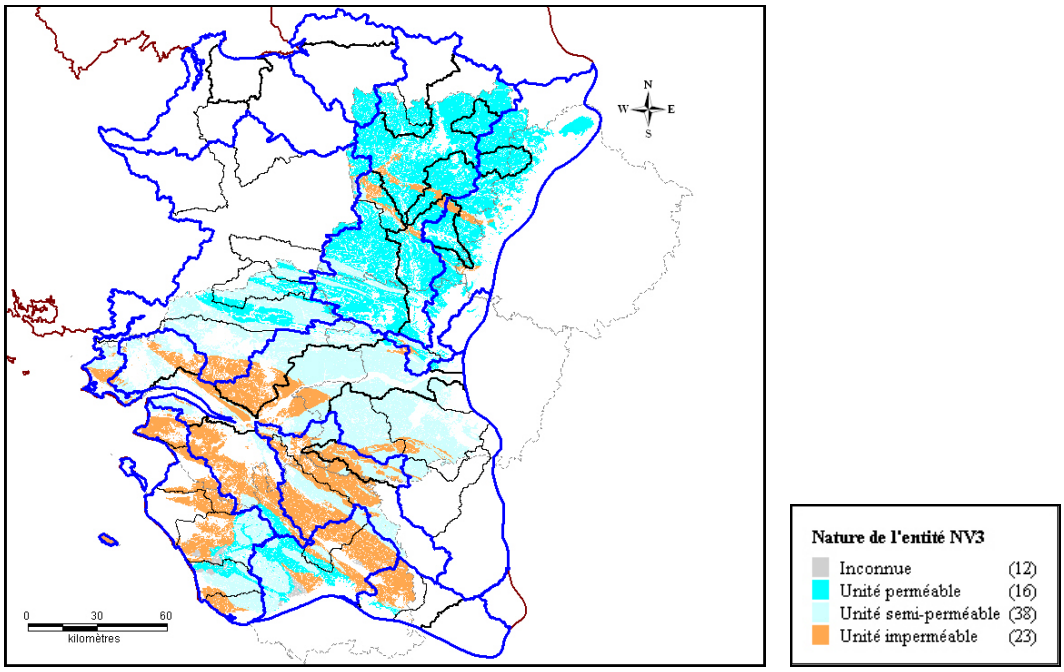


Illustration A15 - Cartographie de la nature des entités de socle de niveau NV3 (départements 44-49-53-72-85)

Références bibliographiques

S. CHEVREL et O. LIMASSET - 1983 - L'EAU DANS LE SOCLE DU MAINE-ET-LOIRE. Examen des résultats d'une centaine de forages récoltés au titre du Code minier en 1983. Note BRGM SGR/PAL 83-20

G. DUERMAEL – 1997 – Ressources en eau profonde de qualité et dénitrification naturelle en Mayenne – Rapport BRGM R39643

LIMASSET O. et TALBO H. (1971) - Ressources en eaux souterraines dans le Maine-et-Loire. Synthèse documentaire. Rapp. BRGM 71 SGN 134 BPL

MOUGIN B., collaboration : CARN A., JEGOU J-P. et QUEMENER G. (2006) - SILURES Bretagne - Rapport d'avancement de l'année 4 - BRGM/RP-55001-FR - 61 p., 23 ill., 5 ann.

B. MOUGIN, D. ALLIER, R. BLANCHIN, A. CARN, N. COURTOIS, C. GATEAU, E. PUTOT, collaboration J-P. JEGOU, P. LACHASSAGNE, P. STOLLSTEINER et R. WYNS (2008) - SILURES Bretagne - Rapport final - Année 5 - BRGM/RP-56457-FR - 129 p., 37 ill., 7 ann. dont 2 planches.

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

WYNS R., LACQUEMENT F., CORBIER P. et VAIRON J. (2002) - Cartographie de la réserve en eau souterraine du massif granitique de La Roche sur Yon (Vendée). BRGM/RP-51633-FR, 26 p., 7 fig., 2 tabl., 11 pl.

WYNS R., QUESNEL F., LACQUEMENT F., BOURGINE B., MATHIEU F., LEBERT F., BALTASSAT J.M., BITRI A., MATHON D. (2005) - Contrat de Plan Etat-Région Pays de la Loire - Projet de Recherche « Cartographie quantitative des propriétés du sol et du sous-sol » : Rapport final BRGM/RP-53676-FR, 135 p., 64 fig., 22 tab., 19 pl. h.-t.

Annexe 1-2
Découpage des entités hydrogéologiques de socle sur les départements de la région Bretagne (Côtes d'Armor, Finistère, Ille-et-Vilaine et Morbihan)

1. DONNÉES DISPONIBLES

- BD Carthage (Base de Données sur la CARtographie THématique des AGences de l'eau et du ministère de l'Environnement) sur le bassin Loire-Bretagne. Edition 2008, version du 22/07/2008, téléchargée le 04/09/2008 sur le site du Sandre
- BD Carthage sur le bassin Seine-Normandie. Même édition 2008
- Données disponibles : région, secteur, sous-secteur et zone hydrographique (contours), et cours d'eau (linéaire)
- Extraction de la Banque HYDRO des stations hydrométriques du bassin Loire-Bretagne (nom, numéro, coordonnées, VCN10(*), date début et fin, superficie contrôlée) au 27/10/2008 (Quang-Hung NGO DIREN Bassin Loire-Bretagne)
- Extraction de la Banque HYDRO des VCN10 des stations hydrométriques de Basse-Normandie (février 2009)
- Janvier 2009 fichier avec informations des gestionnaires (DDE de la Charente-Maritime, DDE de la Vienne, DIREN Basse-Normandie, DIREN Bretagne et DIREN Pays-de-Loire) sur la fiabilité des stations : validité de la mesure du débit, régime influencé ou pas, courbes de tarage, étiage (S. PINSON au Service EAU, BRGM)
- Trois cartes géologiques harmonisées à 1/50 000 sur les départements : Finistère (29), Morbihan (56) et Ille-et-Vilaine (35)
- Notices des cartes géologiques au 1/50 000 couvrant ces départements
- Carte géologique synthétique au 1/250 000 (RABU D., CHANTRAINE J. et BECHENNEC F., 2001. Carte géologique du Massif Armoricain à 1/ 250 000. BRGM) utilisée pour le département des Côtes d'Armor (22)
- Tableau de synthèse réalisé par P. LE BERRE (géologue du SGR/BRE) dans le cadre du projet Référentiel Géologique de France (correspondance entre les appellations des formations géologiques au 1/250 000 et au 1/50 000)
- Polygones des entités hydrogéologiques de la BDRHF V1

Les données de BD Carthage projetées en Lambert 93 (Systèmes Français RGF93 - Méridien de Greenwich / France Lambert-93) ont été converties en Lambert II étendu (Systèmes Français - Méridien de Paris / Lambert II Carto - Paris).

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

- (*) **VCN10** : moyenne des débits les plus bas de l'année sur une période de dix jours consécutifs (méthode de calcul : ajustement à une loi de GALTON et utilisation du VCN10 moyen sur la période de mesure),
- **QES** : débit d'étiage spécifique, égal au rapport « VCN10 / superficie du bassin versant considéré », exprimé en l/s/km^2

2. ENTITÉS NV1 DU SOCLE

Les grands bassins hydrologiques (secteur hydrographique) de BD Carthage Loire-Bretagne et Seine-Normandie :

- bassin côtier de l'embouchure de la Seine (exclu) à la limite du bassin Loire Bretagne : I8 et I9 ;
- bassins de la Bretagne : J0 à J9 ;
- la Loire de la Vienne (c) à la Maine (nc) : L8 et L9 ;
- la Loire de la Maine (c) à la mer : M3, M5, M6 et M8 ;
- et îles marines : Z4 et Z5 ;

ont été sélectionnés. Les îles ont été rattachées aux bassins les plus proches (Ouessant et Batz à J3, Groix à J4, et Belle-Ile à J6). Des regroupements de grands bassins ont été effectués selon des critères de continuité des cours d'eau (Vilaine : J7-9 et Loire : L8-9+M5-6-8), et de confluence (I8-9).

12 entités NV1 de socle sont obtenues, dont 3 qui bordent légèrement la région Bretagne (K1-K4-K7). Les entités K4 (la Loire) et K7 (la Mayenne) ont été traitées sur la région Pays-de-la-Loire ; elles ne seront donc pas détaillées sur la région Bretagne. **Les 10 entités NV1 de socle ainsi obtenues ont été codifiées et renseignées dans le tableau multi-échelles.** La superficie des 10 entités bretonnes de niveau 1 varie de 1 578 à 7 210 km^2 (superficie de 1 578 à 8 993 km^2, en tenant compte de K4 et K7).

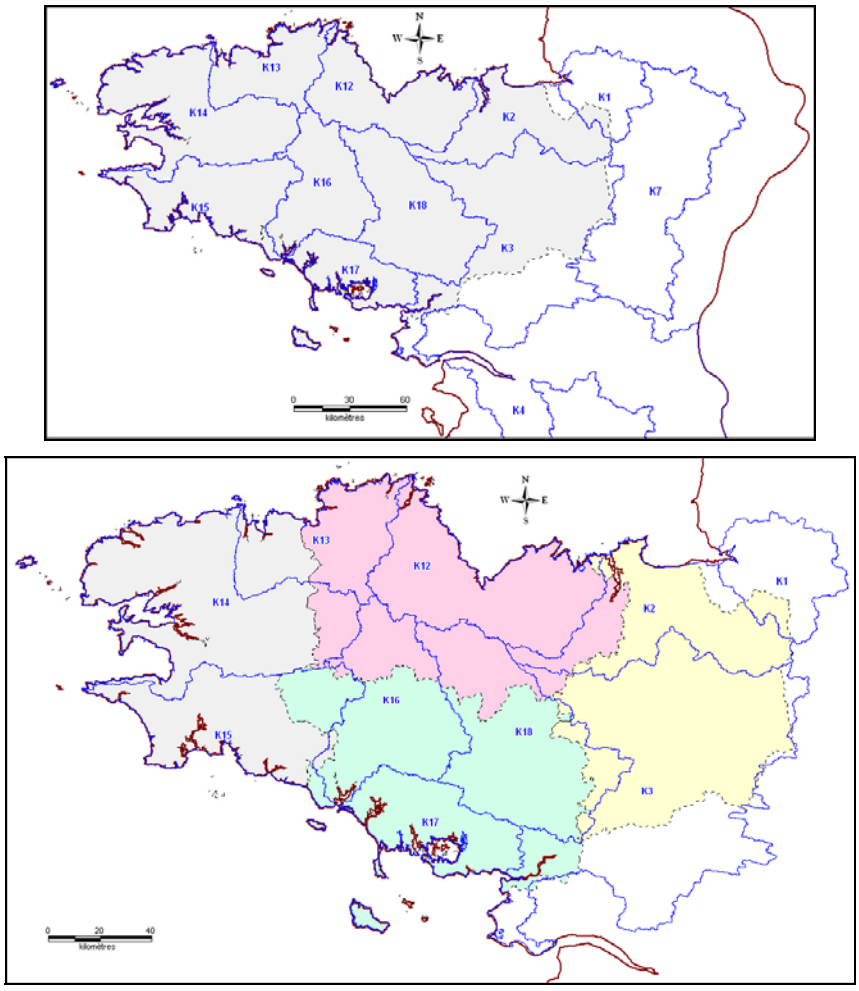


Illustration A16 - Entités de socle de niveau NV1 (région Bretagne) (avec et sans K4 et K7)

3. ENTITÉS NV2 DU SOCLE

3.1. Définition de bassins NV2 avec BD Carthage

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

Certains libellés BD Carthage ont été changés en indiquant plutôt les noms des principales rivières côtières. Les îles ont été rattachées aux bassins les plus proches (Batz à J30, Ouessant à J33, Groix à J49, et Belle-Ile à J61). Les sous-bassins ont fait l'objet de regroupements selon des critères de superficie (exemple près du Golfe du Morbihan : le Vincin, la Marle et le Liziec forment l'entité K17D avant assemblage) et de cours d'eau identique (exemples : Trieux, Aulne, Odet, Scorff, Blavet, Oust, Aff…).

En cas de superficie de bassins versants excédant 200 km^2, certains affluents des principaux cours d'eau ont été séparés en utilisant les zones hydrographiques BD Carthage (exemples : de l'Inam pour l'Ellé (entité K15I avant assemblage), et de la Claie pour l'Oust (entité K18E avant assemblage)).

Certaines zones hydrographiques ont dû faire l'objet de corrections par digitalisation des contours des bassins versants au niveau des exutoires des affluents (exemple : du Don pour la Vilaine (entité K3I avant assemblage)).

66 bassins NV2 de socle ont ainsi été obtenus, dont 1 qui est situé en dehors de la Bretagne et 3 qui bordent légèrement la région (superficie des 65 entités bretonnes de 114 à 2 411 km^2).

3.2. Prise en compte des débits spécifiques

Les **débits d'étiage spécifiques** ont été calculés à partir des VCN10 et des superficies des bassins.
Deux colonnes ont été ajoutées au tableau de codification (QES, station) pour renseigner les valeurs du débit d'étiage spécifique et du numéro de la station qui permet ce calcul.

Pour ce traitement, les stations hydrométriques sélectionnées sont celles situées le plus à l'aval des cours d'eau, avec (dans la mesure du possible) au moins 10 années de mesures (cf. illustration A17), et avec une bonne fiabilité à l'étiage (information fournie par les gestionnaires via la Banque HYDRO : renseignements dans « régime influencé » et « qualité globale des mesures » de la « fiche station »).

La fiabilité des stations du bassin Loire-Bretagne a également été demandée aux gestionnaires, de septembre à novembre 2008, dans le cadre d'une étude sur les relations nappe-rivière, réalisée par le Service EAU du BRGM pour le compte de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne. Les informations des gestionnaires suivants ont été utilisées : DDE de la Charente-Maritime et de la Vienne, et DIREN Pays-de-Loire.

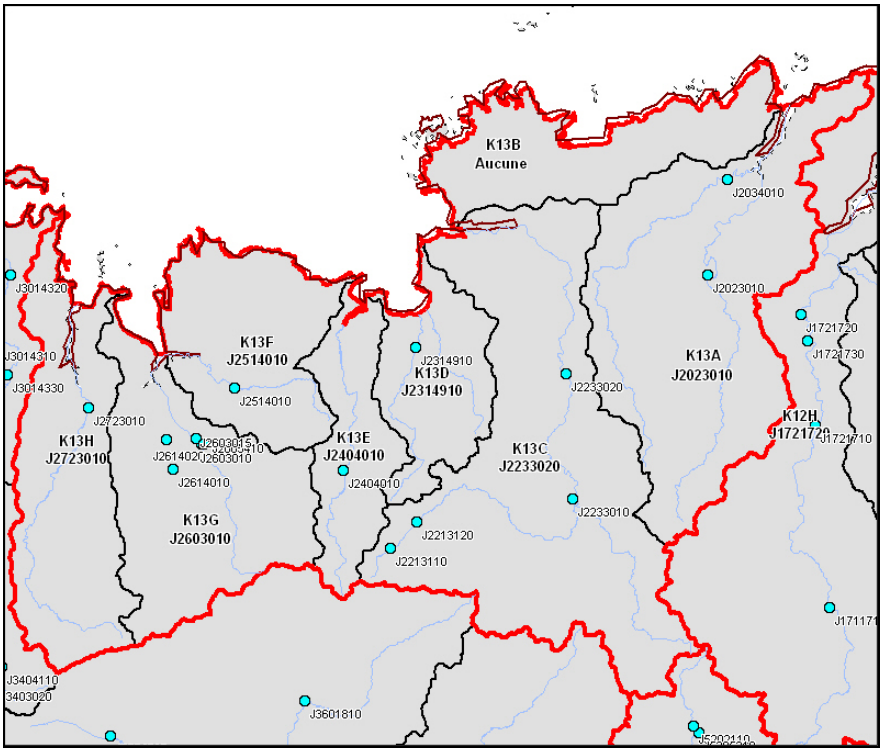


Illustration A17 - Choix des stations hydrométriques avec QES pour affectation aux bassins NV2 (entité NV1 : K13 Côtiers du Trieux (nc) à la Pointe de Bloscon)

Pour la détermination des seuils de QES, l'avis d'expert (J. RAFFY, DIREN Bretagne) a été pris en compte. Celui-ci a jugé de la pertinence des seuils définissant les quatre classes de QES, le premier seuil de QES étant fixé 0.7 l/s/km^2 pour isoler les bassins schisteux et/ou gréseux. Le seuil le plus élevé a été fixé à 3.5 l/s/km^2 en se basant sur les résultats du projet SILURES Bretagne (Mougin et al., 2008) qui a identifié les rivières bretonnes où la participation des eaux souterraines est la plus forte. Le seuil intermédiaire à 1.75 l/s/km^2 permet de répartir les bassins restants en deux classes à nombre homogène d'individus.

Un QES a pu être affecté aux 56 (sur 66) bassins NV2 renseignés (illustration A18) : 39 stations situées vers l'exutoire caractérisent correctement les bassins versants, le reste correspondant à des stations situées au milieu du BV). 10 bassins NV2 n'ont pas de QES soit parce qu'ils ne disposent pas de station hydrométrique (8), soit parce que la station n'a pas assez d'années de mesure (2).

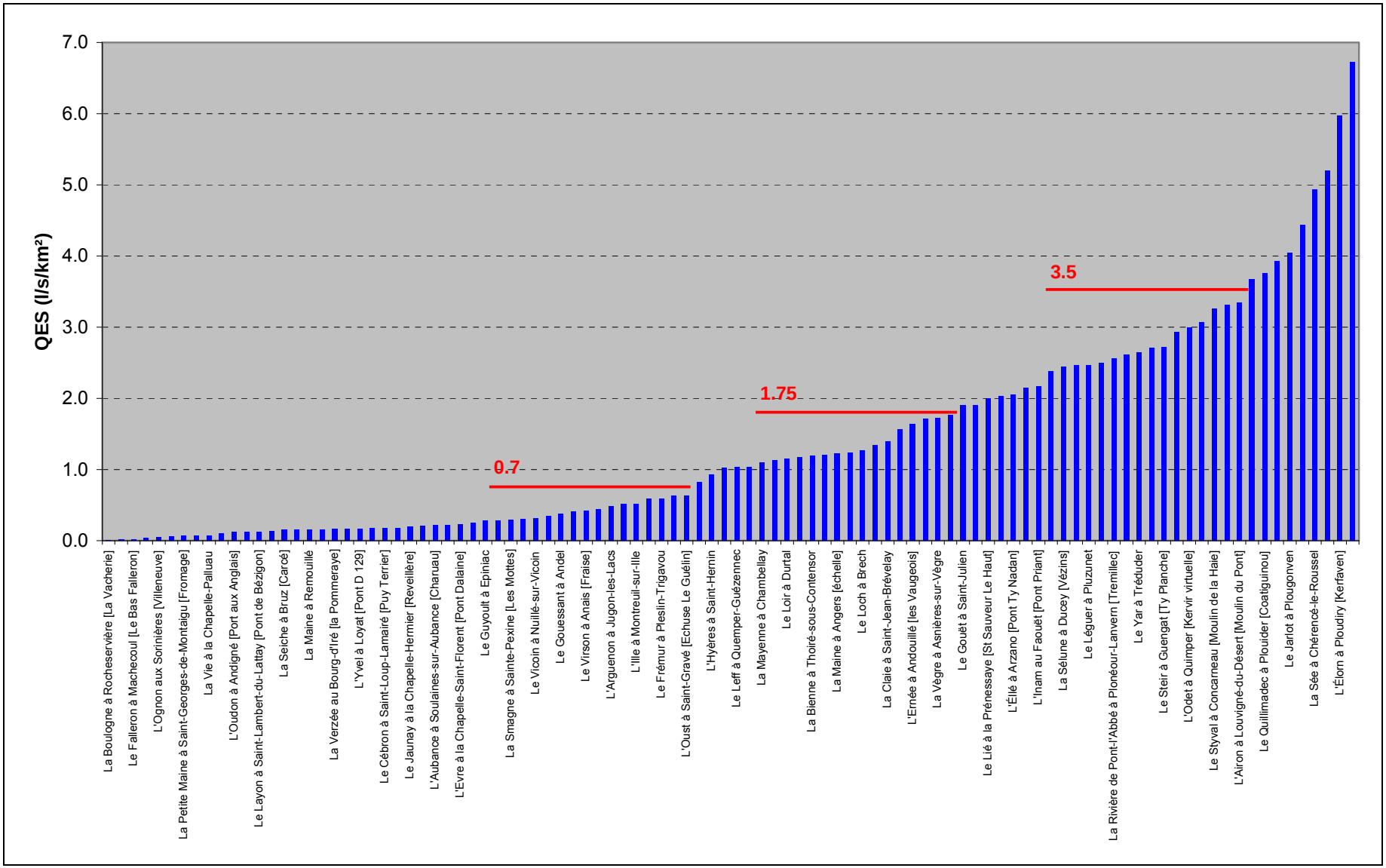


Illustration A18 - Classement de 100 bassins en fonction du QES (Bretagne et Pays-de-la-Loire)

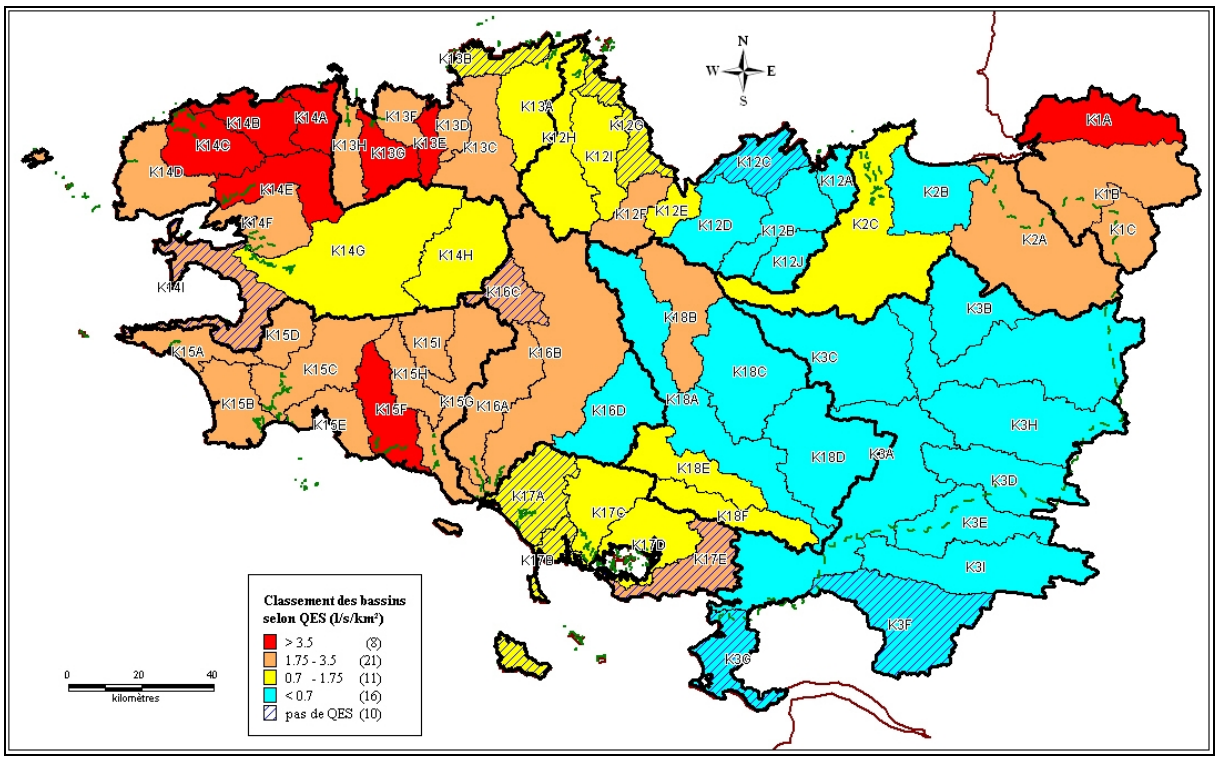


Illustration A19 - Classement des entités selon les valeurs de QES (66 entités NV2 avant assemblage)

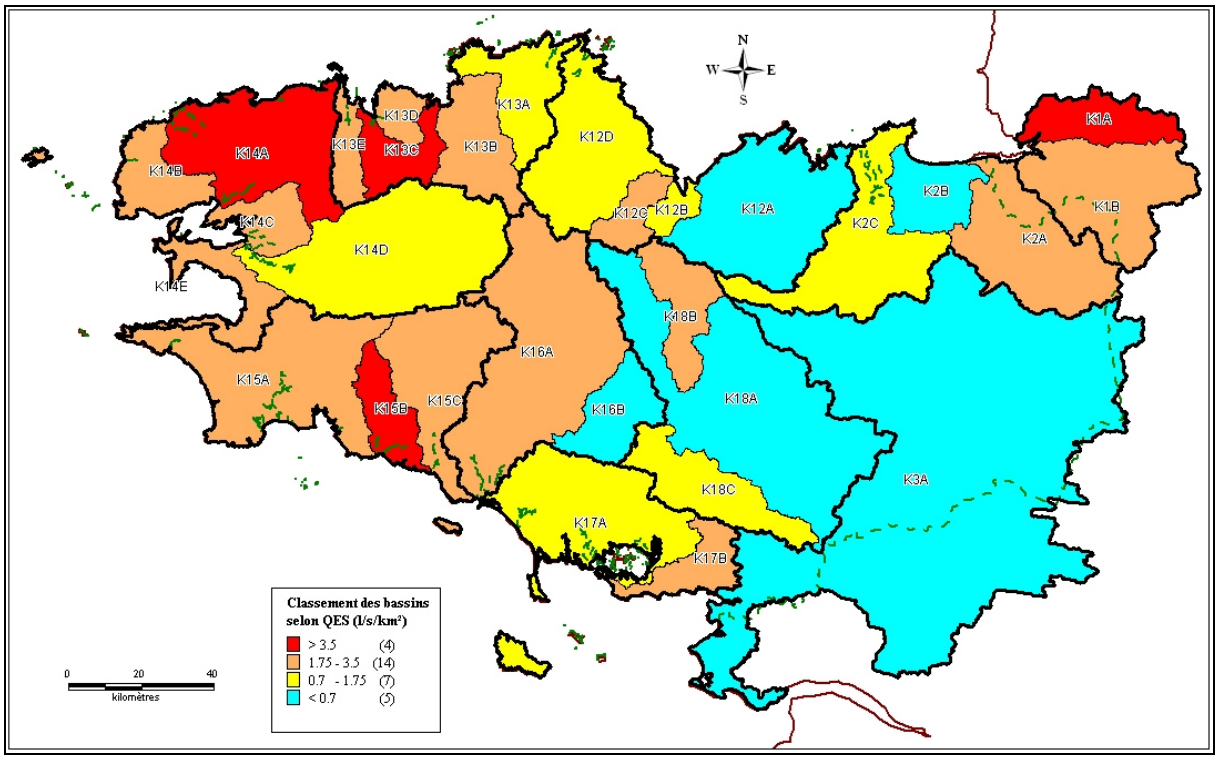


Illustration A20 - Classement des entités selon les valeurs de QES (30 entités NV2 après assemblage)

En intégrant les résultats des bassins de Pays-de-la-Loire (63 bassins Pays-de-la-Loire+37 bassins Bretagne, cf. illustration A18), **les bassins ont ainsi été classés selon 4 classes de QES** (<0.7, (≤0.7-1.75<), (≤1.75-3.5<), ≥3.5 l/s/km²).

Les bassins contigus (avec limite géographique en commun) se situant dans la même classe et dans le même bassin NV1 ont été rassemblés. Les 10 bassins NV2 sans QES ont été associés à l'une de ces classes par similitude avec un bassin voisin comportant des caractéristiques proches (pluviométrie moyenne annuelle, granites, schistes, formations métamorphiques). Ils ont donc également été rassemblés.

30 entités NV2 de socle ont ainsi été obtenues, dont 1 qui est située en dehors de la Bretagne (superficie des 29 entités bretonnes de 140 à 7 210 km^2). Ces entités ont été codifiées et les colonnes « QES » et « station » ont été renseignées. Le tableau multi-échelles a également été complété.

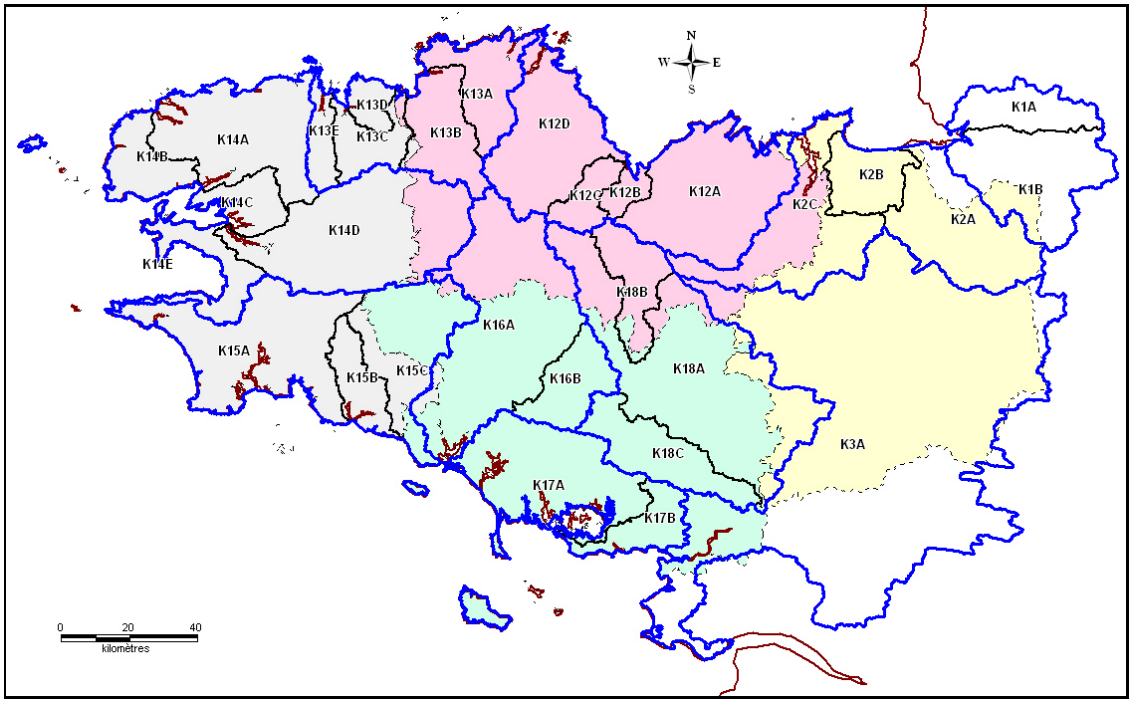


Illustration A21 - Entités de socle de niveau NV2 (région Bretagne)

Au niveau des entités NV2 de socle, un recouvrement peut exister : quand elles existent, les altérites sont situées au-dessus de l'horizon fissuré des roches de socle (ces deux couches étant aquifères). Dans le cadre du projet SILURES Bretagne (Mougin et al., 2008), une cartographie des altérites à l'échelle du 1/250 000 a été tentée (cf. illustration A22).

Comme ce levé comporte beaucoup de contours de petite taille et qu'il est issu d'un travail de krigeage (parfois incertitude élevée), les altérites ne pourront pas être délimitées en tant qu'entité NV2.

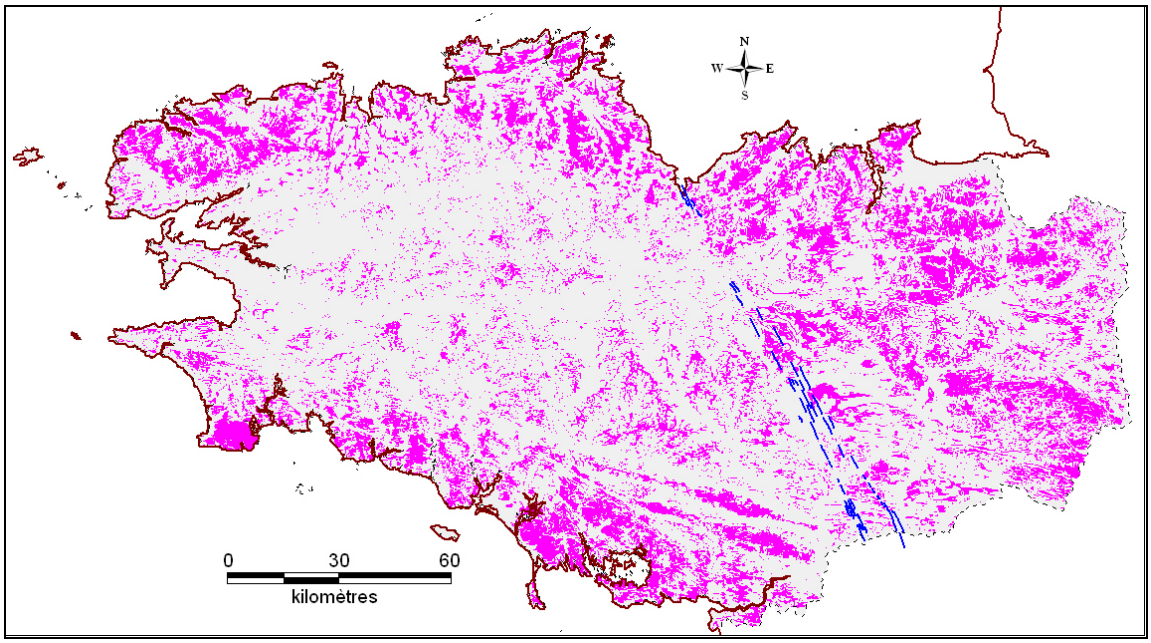


Illustration A22 - Cartographie des altérites sur la région Bretagne (échelle 1/250 000) et faille de Quessoy Nort-sur-Erdre

4. ENTITÉS NV3 DU SOCLE

4.1. Découpage des entités NV3

Les entités NV3 correspondent aux sous-secteurs hydrographiques de la BD Carthage (sous-bassins hydrologiques) inclus dans les entités NV2.

Certains libellés BD Carthage ont été changés en indiquant plutôt les noms des principales rivières côtières. Certains sous-secteurs ont été regroupés selon des critères de superficie (exemple : L'Etier de Billiers de sa source a la mer & côtiers, entité NV2 K17B) et de continuité des cours d'eau (exemples : Trieux, Aulne, Odet, Scorff, Blavet, Oust, Aff…). On rappelle que certaines entités NV2 ont été constituées en séparant certains affluents des principaux cours d'eau en utilisant les zones hydrographiques de la BD Carthage (exemples : de la Claie et de l'Arz pour l'Oust (entité NV2 K18C)).

62 entités NV3 de socle ont été obtenues (cf. illustration A23), dont 1 qui est située en dehors de la Bretagne et 2 qui bordent légèrement la région (superficie des 61 entités bretonnes de 114 à 3 930 km^2). Ces entités ont été codifiées et le tableau multi-échelles a été complété.

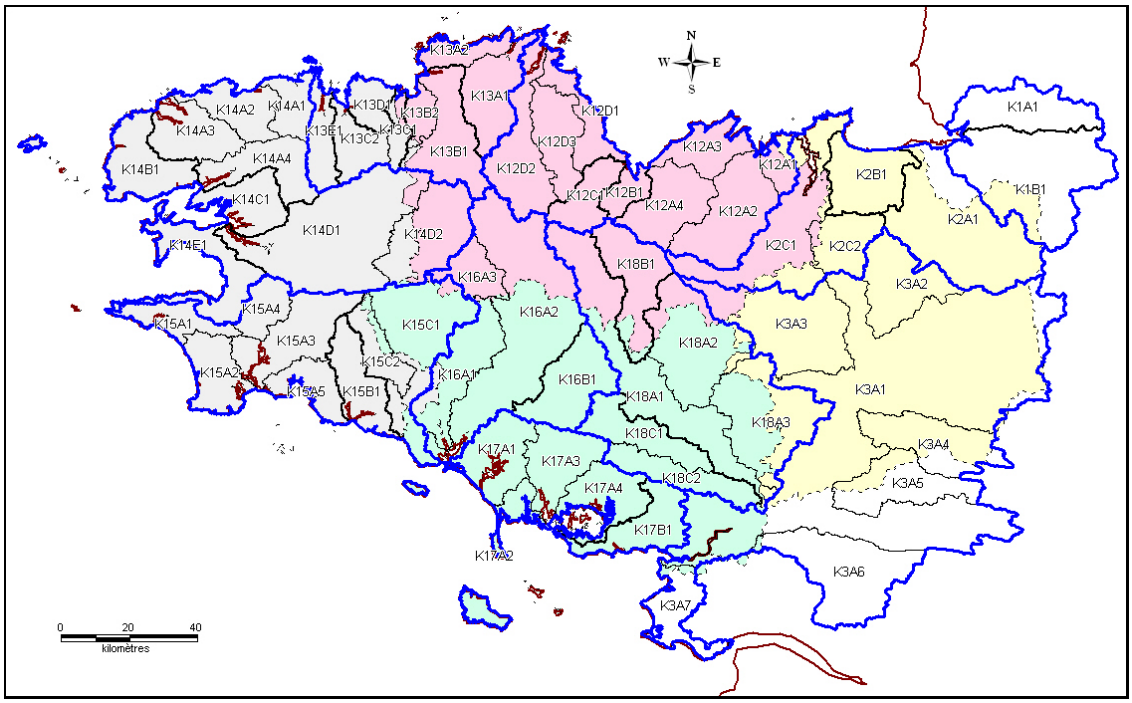


Illustration A23 - Entités de socle de niveau NV3 (région Bretagne)

4.2. Caractérisation de la géologie et de la nature des entités NV3

Le niveau NV3 est ensuite renseigné en prenant en compte les différentes formations géologiques et leurs potentialités aquifères.

La caractérisation des entités au niveau NV3 a nécessité 4 étapes de traitement détaillées ci-dessous.

4.2.1. Préparation des contours géologiques au 1/50 000

Les cartes géologiques harmonisées de 3 des 4 départements de Bretagne (29, 35 et 56 ; contours précis à l'échelle du 1/50 000) et les notices des cartes géologiques au 1/50 000 ont été prises en compte. En raison d'une absence de disponibilité de carte géologique harmonisée (à fin avril 2010), les contours du 22 se baseront sur la carte géologique synthétique au 1/250 000.

Dans chaque carte harmonisée, tous les contours des formations de socle ont été sélectionnés (formations de socle : CODE>36 pour le 29, CODE>40 pour le 56, et CODE>70 pour le 35). Les contours alluviaux et sédimentaires sont traités séparément.

Au niveau des entités de niveau NV3, un recouvrement peut exister : quand elles existent, les altérites sont situées au-dessus de l'horizon fissuré des roches de socle (ces deux couches sont potentiellement aquifères). Comme ces altérites n'ont été levées que sur certaines cartes géologiques et sur la base de connaissances anciennes hétérogènes (cf. illustration A24), ces formations ne peuvent faire l'objet d'un traitement abouti au niveau NV3.

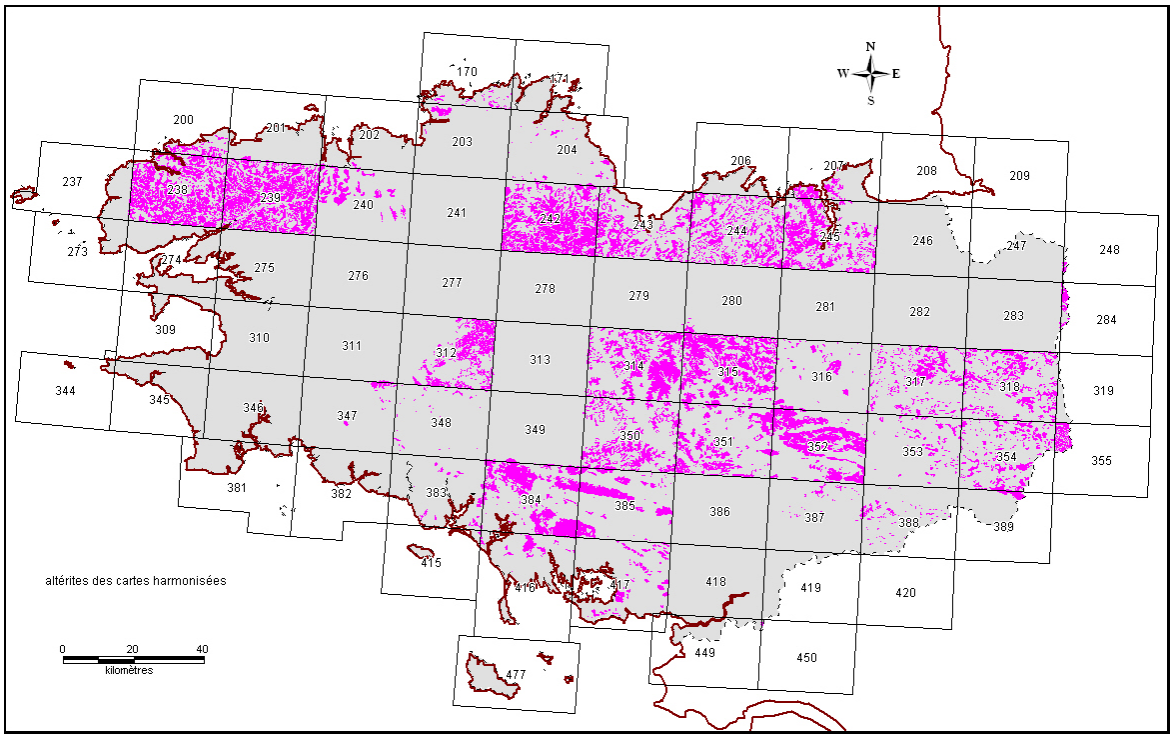


Illustration A24 - Cartographie des altérites sur les départements étudiés, à partir des informations des cartes géologiques harmonisées

Les altérites ont fait l'objet de levés détaillés à l'échelle 1/50 000 lors de plusieurs études hydrogéologiques menées par le BRGM entre 1998 et 2008[8] (voir liste en bibliographie et cf. illustration A25). Ces altérites apparaissent dans le référentiel hydrogéologique BD LISA comme une surcouche, considérée comme un « niveau 0 » (NV0).

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

[8] Etudes hydrogéologiques sur les secteurs : Rade de Brest (29), Yar (22), Horn (29), Coët-Dan (56), Dourduff (29), Oust (56), Yvel (56), Maudouve et Noë Sèche (22), Nançon (35), Echelles (35), Gouessant (22), Urne (22), et Bizien (22) (cf. liste en bibliographie)

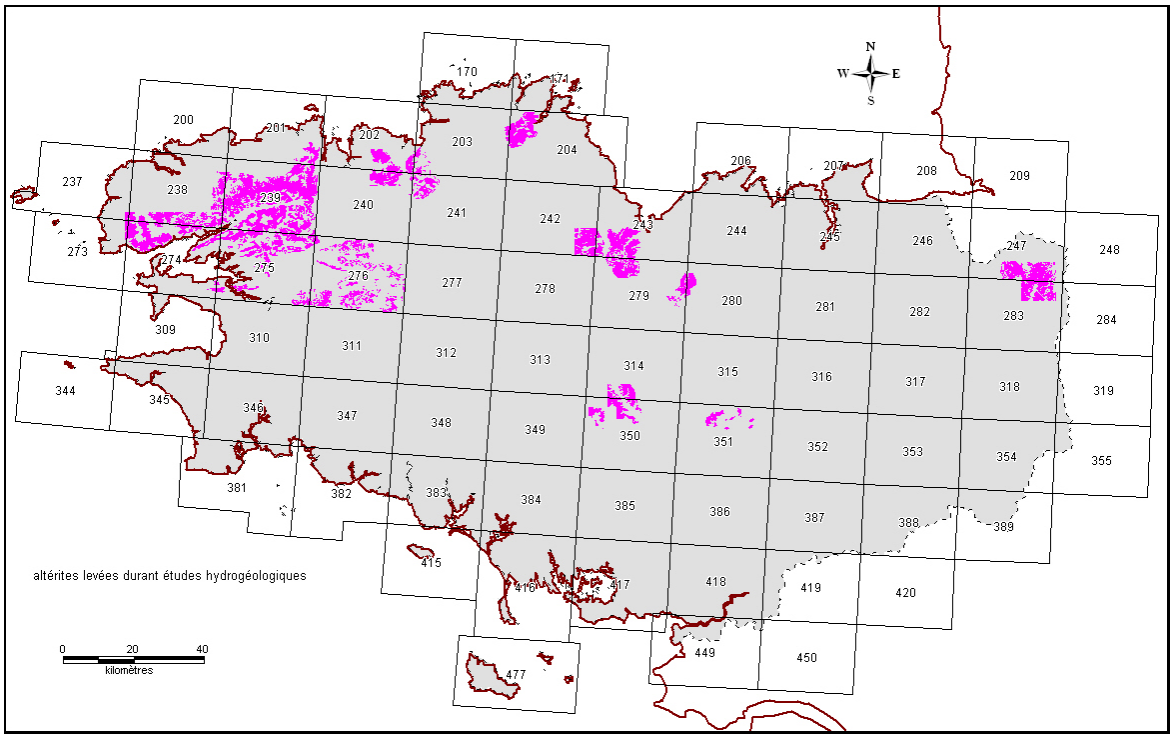


Illustration A25 - Cartographie des altérites sur les départements étudiés, à partir des informations des études hydrogéologiques

4.2.2. Utilisation de la carte géologique synthétique au 1/250 000 et caractérisation de la nature aquifère des formations géologiques

202 formations géologiques de socle distinguées sur les départements bretons[9] ont été sélectionnées.

Ces formations géologiques (champ FORMATION_MASSIF_SERIE) appartiennent à 40 ensembles lithostratigraphiques et tectono-métamorphiques, appelés « Unités ou Batholites » (champ UNITE_BATHOLITE). Ces ensembles sont situés dans 10 segments de croûte terrestre, appelés « Domaines » (champ DOMAINE), qui ont suivi des évolutions paléogéographique et paléotectonique communes. Cet assemblage est visible dans le tableau ci-dessous.

[9] Comme cela a été réalisé dans le cadre du projet SILURES Bretagne et en raison de l'importante superficie de la Formation de la Mayenne (schistes du Briovérien), cette formation est divisée en deux de part de d'autre de la faille de Quessoy Nort-sur-Erdre.

Domaines (DOMAINE)	Unités (UNITE_BATHOLITE)	Formations (FORMATION_MASSIF_SERIE)	Codes carte harmonisée 29	Codes carte 56	Codes carte 35	Codes carte 22
Domaine cadomien nord-breton (Saint-Brieuc-Trégor)	CHAMP FILONIEN DOMNONEEN	Champ domnonéen	filons			
	UNITE DE GUINGAMP	Formation de Guénézan				
		Formation de Guingamp				
		Formations d'Yffiniac et Belle-Isle				
		Massif de Pédernec				
		Massif de Ploufragan				
		Massifs de Plouisy et de Pabu				
		Massifs de Saint-Brieuc et Saint-Fiacre				
	UNITE DE SAINT-BRIEUC	Formation de Lanvollon				
		Formations de Binic et du Minard				
		Massif d'Hillion				
		Massif de Planguénoual				
		Massif de Port-Morvan				
		Massifs de Coëtmieux, Plouha et Pontrieux				
		Massifs de Saint-Quay, Squiffiec et Saint-Alban				
		Stocks de Beg-ar-Forn, Kéralain et du Taurel	petit			
	UNITE DU TREGOR	Champ nord-trégorrois	filons			
		Formation de la Roche-Derrien	382-383-384-385-386-387-388			
		Formation de Lannion	390-391			
		Formation de Loguivy	filons			
		Formation de Paimpol	147-389			
		Formation de Tréguier	392-393-394			
		Massif nord-trégorrois				
		Massifs de Trébeurden et Locquirec	190			
	autres	Formation de Plourivo				
		Formation de Plouézec				
Domaine varisque du Pays de Léon (Brest)	UNITE DE LESNEVEN	Formation de Lesneven	167-168-169-170-173-179-180-247			
		Formations du Horn et de l'Aber Benoit	245-248-250			
	UNITE DU CONQUET	Formations de l'Aber Wrac'h et d'Ouessant	172-177			
		Formations du Conquet et de la Penzé	174-175-176-178I-181			
	autres	Complexe de Plouguerneau	66-243-244-246-249I			
		Faisceau filonien de Kerforne				
		Faisceau filonien de Melon	filons			
		Faisceau filonien du Bas-Léon	filons			
		Massif de Brest	73-77-182-183-186			
		Massif de Kersaint	64-65			
		Massif de l'Aber Ildut	38-39-40-47-48-148			
		Massif de Lannilis	249I			
		Massif de Lescondan-Goulven	43-44			
		Massif de Plouescat-Brignogan	49-50-51-52-137			
		Massif de Porzguen-Lampaul	67-70-71			
		Massif de Roscoff	54-55-56-57-58-59-135			
		Massif de Saint-Renan	62			
		Massif de Sainte-Catherine	45			
		Massifs de Ploudalmézeau et Kernilis	41-42-68-69-140-251-252			
		Massifs de Trégana, Ploudaniel et Kernic	60-61-63-72-74-76			
		Massifs de Tréglonou et de Plounévez	171-185			
Domaine cadomien normano-breton (St Malo-Fougères)	BATHOLITE MANCELLIEN	Massif de Bonnemain - type Lanhélin (ss cordiéri			LITHOTEC-72	
		Massif de Saint-Helen				
		Massifs de Bonnemain et Fougères - type Louvigné				
		Massifs de Vire, Athis, Avranches, la Ferté-Macé,				
		Stocks tardi-batholite				
	CHAMP FILONIEN MANCELLIEN	Champ mancellien			43I-44	
	UNITE DE FOUGERES	Formation de Port Saint-Hubert			LITHOTEC	
		Formations de Fougères et de Granville				
		Formations de Fougères et Granville				
	UNITE DE SAINT-MALO	Formation de Langrolay			LITHOTEC (U. de St Malo et U. de St-Malo)-45	
		Formation de Saint-Malo				
		Formations de la Fresnaye et de la Terrette	petit		pas dans 35	
		Formations de Lamballe et de Saint-Lô				
		Phtanites de Lamballe et Saint-Lô	petit		pas dans 35	
	UNITE DU MAINE	Formation du Pont-de-Caen			pas dans 35	
		Formations de Pissot et de May			pas dans 35	
		Massifs de Lamballe, Cancale et Saint-Cast				
	autres	Massifs de Trégomar, Brée, Ernée et Louzes				
Domaine varisque médio-armoricain occidental (Chateaulin)	BATHOLITE DE HUELGOAT-PLOUARET-PLOUNEOUR	Enclave basique précoce - faciès Lanvellec	petit			
		Filons et stocks tardi-batholite dans les massifs	rattachés aux Massifs			rattachés aux Massifs
		Massif de Bégard				
		Massif de Loguivy-Plougras	85 (carte29)			
		Massif de Tonquédec				
		Massifs de Guerlesquin, Berrien et Commana	84-116-117			
		Massifs de Huelgoat, le Ponthou et Plounéour	83I-86-114-115-143			
	BATHOLITE DE PLOUMANACH ET DE LA BAIE DE MORLAIX	Enclave basique précoce - faciès Sainte-Anne	petit			
		Massif de l'Ile Grande	petit			
		Massif de Ploumanac'h				
		Massifs de Carantec, Trégastel, Lanmeur et Yaudet	93(carte29)-94-166			
	BATHOLITE MEDIO-ARMORICAIN	Filons et stocks tardi-batholite dans les massifs				rattachés aux Massifs
		Massif de Quintin				
		Massifs de Plesidy-Leslay				
		Massifs de Moncontour et Dinan				
	UNITE DE CHATEAULIN	Formation de Cartravers	262-272			
		Formation de Kerroc'h	268-269-270-271-274-275-276			
		Formation de la Baie de Douarnenez	159-163-374I-375-376I-380			
		Formation de Lohuec	308I-309I-310I-311I			
		Formation de Plougastel	331I-344I	182-184		
		Formation de Pont-de-Buis	152-260-261-263-265-266-267			
		Formation de Postolonnec	164I-357I-358-359-360-361			
		Formation du Cap-de-la-Chèvre	372-373	216		
		Formation du Grès armoricain	365-366-367-368-369-370	210I		
		Formations de Kermeur, Rosan et Cosquer	164I-346-353I-354-355-356			
		Formations de Porsguen,Traonliors et Bolazec	285-286-288-289-290			
		Formations de Postolonnec et Kermeur	308I-345-350-353I-357I-362	208		
		Groupe de Saint-Goazec	273-281-282-283-284			
		Groupes de Kerguillé et de Guernanic	335-336-337-339-340-341	188-193-203		
		Groupes de Landévennec et Seillou-Guendaré	307-309-311I-313-314-315-316-317-318-319-320-321-322-325-326-327-328I-329-330-395-396	180-181		
		Groupes de Traon et de Fréau	161-291-292-293-295-296-297-298-299-300-301-302-303-304-305-306-312-324			
	UNITE DE MORLAIX-ELORN	Formation de l'Elorn	374I-381I			
		Formation de Morlaix	278-279-280-287			
		Formation du Château-du-Mur	323			
		Groupe de la Roche-Maurice	334-344I-351-363-371			
		Groupe de Plouigneau	328I-331I-333-342-343			
	autres	Massif de Saint-Jean-du-Doigt	80-81-88-90-91-309I			
		Massif de Runiou-Corniou	89			
		Massifs de Barnénez-Plestin	310I			
		Massifs de Plourin-Ploumilliau	83I			
		Massifs de Plougonven et Kerèven	187			
		Massif de Loc'h Envel	188			
		Filons et stocks du bassin de Châteaulin	79-87-138I-141			

Illustration A26 - Domaines, Unités et Formations géologiques à 1/250 000 sur les départements 22-29-35-56 (Page 1/2)

Domaines (DOMAINE)	Unités (UNITE_BATHOLITE)	Formations (FORMATION_MASSIF_SERIE)	Codes carte harmonisée 29	Codes carte 56	Codes carte 35	Codes carte 22
Domaine varisque médio-armoricain oriental (Laval)	UNITE DE LAVAL	Formation de Saint-Germain-sur-Ille	sur 2 Unités		132!	
		Formation de Saint-Pierre-la-Cour			208	
		Formations de la Lande-Murée et du Val	sur 2 Unités		129!-130!	
		Formation des calcaires de Laval			207	
	UNITE DU MENEZ-BELAIR	Formation de Gahard			128	
		Formation de Saint-Germain-sur-Ille	sur 2 Unités		131-132!	
		Formations de Bois-Roux et de la Foulerie			124-125-126-127	
		Formations de la Lande-Murée et du Val	sur 2 Unités		129!-130!-135	
		Formations des Marettes et de la Rabine	petit		120	
		Formations du Grès armoricain et d'Andouillé			71-133!-134!	
		Formations du Grès armoricain, Andouillé et Saint-				
		Groupe d'Eréac			118-119	
		Groupe de Bosquen			121-122-123	
Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes)	UNITE DE BRETAGNE CENTRALE	Auréole thermique du massif de Rostrenen		109		
		Formation de Bretagne centrale		227		
		Formation de la Mayenne (Est faille Quessoy)		idem ci-dessous avec découpage Est faille		
		Formation de la Mayenne (Ouest faille Quessoy)	376!-377-378-379	89-91-92-96-101-222-223-224!-225-228-230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240-241-243	LITHOTEC	
		Formations du Faouët et de Plouguenast	191-196-197-198-199-200-201-203	87-97-105-110-111-112-224!-226-229		
	UNITE DU SUD DE RENNES	Formation d'Argentré	petit		162	
		Formation de Pont-Réan		212-213-214-215-244	179-181-182-183-184-185	
		Formation de Marsac (Formation de Réminiac 250)		242	180	
		Formation de Riadan-Renazé		201-202	168-169-170-171	
		Formation de Traveusot		209	172-173-174	
		Formation du Grès armoricain		210	175-176-177-178	
		Formations de la Chesnaie et de Poligné		194	163-164-165-166-167	
	autres	Champs d'Argentré et d'Origné	petit			
		Champs de Cesson et de Bais			136-140-141-142	
		Massif de Douarnenez	104-105			
		Massif de Langonnet		45		
		Massif de Ménéac		53		
		Massif de Plélauf		50		
		Massif de Plouguenast				
		Massif de Saint-Guéno				
		Massifs de Gourvily et de Plessala	194-195			
		Massifs de Guengat et de Robart	99-100-106			
		Massifs de Locronan, Steir, Rostrenen, Croisty	97-98-101-192	46-47-48-49-52-63-64-86		
		Massifs de Plogonnec et Gougastel	108-193	56		
		Massifs de Saint-Jacut et de Lanrélas				
		Massifs de Scaer, Pontrey, Lizio, Séglien, Udet	102-103-107-109-110-111-112-113	41-42-43-44-54-55-57-58-59!-61-62		
		Massifs du Pertre et de Craon			143-144-145-146-147-148-149	
Domaine varisque ligéro-sénan (Quimper-Angers)	UNITE DE SAINT MARS-LA-JAILLE	Formation de Redon			LITHOTEC	
		Formation de Saint-Perreux		183-198-200-204!-205-206-207!-211!-221		
	UNITE DE SAINT-GEORGES-SUR-LOIRE	Formation de Fégréac		186-187-189-190-195-197		
		Formation de la Romme		191		
	UNITE DE SAINT-JULIEN DE VOUVANTES	Formation de Saint-Marcel		199	LITHOTEC	
		Formations d'Erbray, de Vern et d'Angers	petit			
		Formations de Renac et de Bois-Neuf	sur 2 Unités	185-192-196		
	UNITE DES LANDES DE LANVAUX	Formation de Bains-sur-Oust		217-218-219-220	186-187-188-189	
		Formation du Grand Auverné		absente	absente	
		Formations de Renac et de Bois-Neuf	sur 2 Unités			
	(Unité de Péaule)	Formation d'Elliant	209	123		
		Formation de Béganne		204!-207!-210!-211!		
		Formation de Missillac		118!		
		Formation de Pluvigner	121	173-174		
		Formation de Saint-Dolay		113-114!-115!		
		Formation du Guerno		114!-115!-116		
	autres	Formation de Kergogne	258-259			
		Diorite du Meneg et de Lokunolé	206			
		Massif de Ergué-Languidic	119-122-204-205	66-67		
		Massif de Lanvaux	208	65	190	
		Massif de Questembert		59!-60		
		Massif de Saint-Thurien	207	122		
Domaine varisque nantais (Nantes-Cholet)	UNITE DE CHAMPTOCEAUX	Formation de Saint-Mars-du-Désert	petit	118!		
	autres	Massif de Orvault-Mortagne-Châteaumur				
Domaine sud-armoricain breton (Quimper-Vannes)	ORTHOGNEISS SUD-ARMORICAINS	Enclave de Port Manec'h	238			
		Formation de Languidou	avec F. de Penhors (U. d'Audierne)			
		Formation de Lanmeur-Cosquer	239-240			
		Formation de Moëlan	224-241	159		
		Formation de Nizon-Quimperlé-Tréauray-Roguedas-Arzal	223	133-160-162-177		
		Formations de Pouldohan et Pénestin	233-234-235-236-237-254-257	130		
	UNITE D'AUDIERNE	Formation de Penhors	210-211			
		Formation de Peumerit	214-215			
		Formation de Ty-Lann	212-213			
	UNITE DE GROIX-CENE	Formation de l'Ile de Groix		152-153-154-155-156-157-158		
	UNITE DE SAINT-GILLES ET DE LA VILAINE	Formation de la Vilaine		125-126-127-129-131-132-136-137-138-142-145-147-150		
		Formation des Porphyroïdes	petit	139-140-141-143-144-148-149		
		Formation du Moustoir	petit	128		
	UNITE DE SAINT-NAZAIRE	Formation de Kervignac	pas dans 29	163-178		
		Formation de Muzillac	253-256	95-134-135-179-245		
		Formation de Nizon-Quimperlé-Tréauray-Roguedas-Arzal	dans U. Orthogneiss Sud-Armoricains			
		Formation du Morbihan	pas dans 29	169-170-171-172		
	UNITE DU POULDU	Formation de Merrien	230-231-398-400	88-164-165-166-167		
		Formation de Nerly	227-228-229	168		
		Formation de Raguenez	232			
		Formation de Tréogat	216-220			
		Formation de Trunvel	217-226			
		Formation du Pouldu	401-402			
	autres	Massif de Baye	126			
		Massif de Carnac		70-74-75-76-82-90-103-175		
		Massif de Guidel	399-403	77-78-81		
		Massif de Plouhinec-Pluguffan-Plumergat	118-120-133-151-381!	68-69		
		Massif de Sainte-Anne-d'Auray		73		
		Massifs de Plonéour et Saint-Joseph	218-222			
		Massifs de Pont-l'Abbé, Ploemeur, Quiberon et Guérande	123-127-130	71-72-79-80-176		
		Massifs de Quimper et Plomelin	124-125-255			
		Massifs de Trégunc et de Riec	128-129			
		Ultramylonites	202-221	120-121		

Illustration A26 - Domaines, Unités et Formations géologiques à 1/250 000 sur les départements 22-29-35-56 (Page 2/2)

Au niveau de la délimitation des contours géologiques qui permettent de caractériser les entités NV3, les Unités ou Batholites seront considérées comme les entités de base.

Les forages de la Banque du Sous-Sol (BSS) implantés sur la région Bretagne en zone de socle et renseignés par le débit instantané obtenu en fin de foration (12 127 forages) ont été extraits. Ces forages ont été superposés sur les 202 formations géologiques de socle de la carte au 1/250 000.

117 formations ont une superficie suffisante pour être renseignées par au moins 20 forages (9 983 forages sont utilisés).

A l'aide des informations des forages (profondeur et débit instantané de l'ouvrage), des statistiques simples sont établies et chaque formation est caractérisée par :

- le pourcentage de forages ayant fourni un débit instantané au moins égal à 10 m^3/h (critère considéré comme une image des probabilités de succès),
- débit moyen du quartile supérieur, ou moyenne des débits des 25 % « meilleurs forages » (paramètre représentatif de la perméabilité des axes de drainage souterrain),
- un indice global défini par le produit des deux paramètres précédents,
- et un indice de productivité défini par le rapport : débit moyen des forages sur profondeur moyenne des forages (débit instantané moyen par mètre foré).

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

Sur 13 formations d'extension interrégionale (régions Pays-de-la-Loire et Bretagne), les statistiques ont été approfondies grâce à 721 forages de Pays-de-la-Loire.

L'illustration A27 présente les résultats de ces statistiques pour chaque formation géologique rencontrée en région Pays-de-la-Loire.

	Statistiques sur la région Bretagne					Statistiques sur les régions Pays-de-la-Loire et Bretagne				
Formation géologique 1/250 000	Nombre de forages	% de forages ≥ 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	Q/P moyen (m3/h/m)	Nombre de forages	% de forages ≥ 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	Q/P moyen (m3/h/m)
Complexe de Plouguerneau	31	12.9%	13.1	1.7	0.143					
Formation de Bains-sur-Oust	93	22.6%	23.5	5.3	0.165	122	23.0%	22.8	5.2	0.155
Formation de Fégréac	6	-	-	-	-	21	23.8%	16.4	3.9	0.105
Formation de Gahard	24	8.3%	9.4	0.8	0.060					
Formation de Guingamp	29	31.0%	19.6	6.1	0.146					
Formation de Kerroc'h	35	25.7%	24.0	6.2	0.189					
Formation de Kervignac	24	25.0%	12.0	3.0	0.106					
Formation de la Baie de Douarnenez	47	10.6%	12.2	1.3	0.115					
Formation de la Mayenne (Est faille Quessoy)	779	29.7%	18.3	5.4	0.126	932	31.4%	21.2	6.7	0.142
Formation de la Mayenne (Ouest faille Quessoy)	837	24.4%	16.8	4.1	0.121					
Formation de la Roche-Derrien	32	12.5%	9.2	1.1	0.105					
Formation de la Vilaine	40	15.0%	14.3	2.1	0.107					
Formation de Langrolay	55	45.5%	33.8	15.3	0.210					
Formation de Lanmeur-Cosquer	31	3.2%	7.1	0.2	0.055					
Formation de Lannion	24	33.3%	17.0	5.7	0.162					
Formation de Lanvollon	139	46.0%	28.1	12.9	0.189					
Formation de l'Elorn	61	29.5%	29.9	8.8	0.188					
Formation de Lesneven	225	42.2%	24.7	10.4	0.239					
Formation de l'Ile de Groix	35	8.6%	9.7	0.8	0.093					
Formation de Merrien	37	0.0%	6.3	0.0	0.077					
Formation de Moëlan	49	6.1%	9.4	0.6	0.080					
Formation de Morlaix	34	41.2%	25.8	10.6	0.176					
Formation de Muzillac	87	14.9%	14.8	2.2	0.111	111	15.3%	16.1	2.5	0.114
Formation de Nerly	30	10.0%	9.4	0.9	0.120					
Formation de Nizon-Quimperlé-Tréauray-Roguedas-A	85	21.2%	18.2	3.9	0.141					
Formation de Paimpol	52	51.9%	58.3	30.3	0.384					
Formation de Penhors	28	35.7%	26.1	9.3	0.167					
Formation de Plougastel	168	17.9%	16.8	3.0	0.129					
Formation de Plouguenast	56	33.9%	27.4	9.3	0.144					
Formation de Plourivo	39	23.1%	17.5	4.0	0.104					
Formation de Pont-de-Buis	408	14.7%	15.3	2.2	0.115					
Formation de Pont-Réan	82	20.7%	16.1	3.3	0.103					
Formation de Port Saint-Hubert	30	36.7%	32.5	11.9	0.225					
Formation de Riadan-Renazé	40	25.0%	13.7	3.4	0.149					
Formation de Saint-Dolay	31	16.1%	13.0	2.1	0.100					
Formation de Saint-Germain-sur-Ille	56	25.0%	27.1	6.8	0.136	70	22.9%	24.6	5.6	0.131
Formation de Saint-Malo	259	41.3%	25.3	10.5	0.168					
Formation de Saint-Perreux	24	4.2%	7.5	0.3	0.072	40	20.0%	15.8	3.2	0.112
Formation de Traveusot	71	18.3%	12.5	2.3	0.098	81	21.0%	14.4	3.0	0.102
Formation de Tréguier	33	39.4%	38.6	15.2	0.233					
Formation de Trunvel	23	17.4%	17.7	3.1	0.106					
Formation d'Elliant	21	4.8%	10.0	0.5	0.079					
Formation du Faouët	219	14.2%	13.2	1.9	0.109					
Formation du Grès armoricain	223	33.2%	29.1	9.6	0.196	238	33.6%	33.0	11.1	0.210
Formation du Guerno	29	27.6%	20.6	5.7	0.172					
Formation du Morbihan	37	10.8%	10.7	1.2	0.103					
Formations de Binic et du Minard	54	25.9%	18.7	4.9	0.156					
Formations de Fougères et de Granville	263	38.4%	26.7	10.2	0.223	295	36.6%	25.1	9.2	0.208
Formations de Fougères et Granville	245	49.8%	38.0	18.9	0.250	371	44.7%	34.7	15.5	0.221
Formations de la Lande-Murée et du Val	29	13.8%	13.8	1.9	0.095	61	11.5%	12.2	1.4	0.070
Formations de Lamballe et de Saint-Lô	223	39.9%	22.0	8.8	0.183					
Formations de Porsguen,Traonliors et Bolazec	22	9.1%	9.8	0.9	0.067					
Formations du Conquet et de la Penzé	123	38.2%	26.6	10.2	0.221					
Formations du Grès armoricain et d'Andouillé	26	19.2%	21.2	4.1	0.114					
Groupe de Plouigneau	87	34.5%	29.0	10.0	0.226					
Groupe de Saint-Goazec	34	29.4%	13.0	3.8	0.128					
Groupes de Landevennec et Seillou-Guendaré	101	31.7%	23.3	7.4	0.154					
Groupes de Traon et de Fréau	62	19.4%	19.7	3.8	0.124					
Massif de Baye	25	0.0%	5.3	0.0	0.053					

Illustration A27 - Résultats de l'approche statistique (région Bretagne) (page 1/2)

	Statistiques sur la région Bretagne					Statistiques sur les régions Pays-de-la-Loire et Bretagne				
Formation géologique 1/250 000	Nombre de forages	% de forages ≥ 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	Q/P moyen (m3/h/m)	Nombre de forages	% de forages ≥ 10 m3/h	Débit moyen du meilleur quartile (m3/h)	Indice global	Q/P moyen (m3/h/m)
Massif de Bégard	62	22.6%	24.8	5.6	0.126					
Massif de Bonnemain - type Lanhélin (ss cordiéri	59	22.0%	26.4	5.8	0.179					
Massif de Brest	114	33.3%	24.3	8.1	0.221					
Massif de Brignogan	48	29.2%	18.8	5.5	0.143					
Massif de Carnac	177	11.9%	10.8	1.3	0.089					
Massif de Dinan	33	6.1%	12.2	0.7	0.063					
Massif de Douarnenez	26	19.2%	24.0	4.6	0.133					
Massif de Ergué-Languidic	78	26.9%	23.0	6.2	0.160					
Massif de Guidel	76	9.2%	8.9	0.8	0.086					
Massif de Kerlouan	45	11.1%	10.7	1.2	0.155					
Massif de Kersaint	210	25.2%	15.7	4.0	0.211					
Massif de l'Aber Ildut	96	27.1%	22.5	6.1	0.185					
Massif de Langonnet	28	10.7%	9.9	1.1	0.097					
Massif de Lannilis	35	31.4%	25.0	7.9	0.270					
Massif de Lanvaux	96	7.3%	8.2	0.6	0.066					
Massif de Lizio	63	9.5%	9.1	0.9	0.077					
Massif de Ménéac	20	20.0%	14.4	2.9	0.103					
Massif de Moncontour	70	25.7%	18.8	4.8	0.110					
Massif de Ploemeur	29	20.7%	14.1	2.9	0.088					
Massif de Ploufragan	31	22.6%	17.6	4.0	0.118					
Massif de Plouguenast	21	14.3%	13.0	1.9	0.100					
Massif de Plouhinec	92	19.6%	24.6	4.8	0.185					
Massif de Ploumanac'h	31	12.9%	18.2	2.4	0.083					
Massif de Pluguffan	86	24.4%	20.6	5.0	0.173					
Massif de Plumergat	42	19.1%	11.9	2.3	0.108					
Massif de Pont-l'Abbé	136	12.5%	13.1	1.6	0.112					
Massif de Port-Morvan	39	30.8%	25.2	7.8	0.162					
Massif de Questembert	134	15.7%	11.7	1.8	0.104					
Massif de Quintin	105	16.2%	14.8	2.4	0.096					
Massif de Roscoff	30	20.0%	25.5	5.1	0.196					
Massif de Sainte-Anne-d'Auray	106	13.2%	13.0	1.7	0.099					
Massif de Saint-Helen	30	46.7%	33.3	15.5	0.263					
Massif de Saint-Jean-du-Doigt	33	33.3%	34.0	11.3	0.262					
Massif de Saint Renan	107	43.0%	32.0	13.8	0.278					
Massif de Tonquédec	29	17.2%	13.2	2.3	0.079					
Massif nord-trégorrois	61	44.3%	26.7	11.8	0.214					
Massifs de Barnénez-Plestin	20	25.0%	19.0	4.8	0.192					
Massifs de Bonnemain et Fougères - type Louvigné	153	31.4%	25.0	7.8	0.167					
Massifs de Carantec, Trégastel, Lanmeur et Yaudet	29	24.1%	18.2	4.4	0.111					
Massifs de Coëtmieux, Plouha et Pontrieux	57	19.3%	14.7	2.8	0.103					
Massifs de Gerlesquin, Berrien et Commana	27	18.5%	23.9	4.4	0.154					
Massifs de Huelgoat, le Pothou et Plounéour	50	16.0%	16.1	2.6	0.146					
Massifs de Lamballe, Cancale et Saint-Cast	29	24.1%	17.8	4.3	0.118					
Massifs de Locronan, Steir	90	16.7%	17.6	2.9	0.131					
Massifs de Plonéour et Saint-Joseph	37	24.3%	16.7	4.1	0.125					
Massifs de Ploudalmézeau et Kernilis	93	23.7%	17.9	4.2	0.135					
Massifs de Plougonven et Keréven	57	28.1%	22.4	6.3	0.151					
Massifs de Plouisy et de Pabu	52	32.7%	16.2	5.3	0.124					
Massifs de Quiberon et Guér	39	10.3%	11.4	1.2	0.089	58	13.8%	13.4	1.9	0.083
Massifs de Quimper et Plomelin	29	34.5%	26.5	9.1	0.220					
Massifs de Rostrenen, Croisty	62	21.0%	17.2	3.6	0.137					
Massifs de Saint-Quay, Squiffiec et Saint-Alban	56	42.9%	20.4	8.8	0.147					
Massifs de Scaer, Pontivy, Séglien, Odet, L	178	12.4%	12.1	1.5	0.104					
Massifs de Trégana, Ploudaniel et Kernic	24	29.2%	18.8	5.5	0.174					
Massifs de Tréglonou et de Ploumévez	115	52.2%	24.4	12.7	0.243					
Massifs de Trégunc et de Riec	36	8.3%	15.0	1.2	0.070					
Massifs de Vire, Athis, Avranches, la Ferté-Macé,	158	26.0%	23.7	6.1	0.151	394	34.5%	33.5	11.6	0.206
Massifs du Pertre et de Craon	22	13.6%	15.5	2.1	0.131					

Illustration A27 - Résultats de l'approche statistique (région Bretagne) (page 2/2)

La nature aquifère (ou pas) des formations a été déterminée en fonction des deux paramètres suivants : débit moyen du quartile supérieur et indice de productivité. Le tableau ci-dessous précise les gammes retenues.

	Classes	Qmoy meilleur 1/4 (m3/h)	Q/P moyen (m3/h/m)	Nature entité
	1	≥ 30	≥ 0.2	Unité aquifère
	2	20-30	0.14-0.2	Unité aquifère
	3	15-20	0.11-0.14	Unité semi-perméable
	4	11-15	0.09-0.11	Unité semi-perméable
	5	< 11	< 0.09	Unité imperméable

Illustration A28- Nature des entités en fonction des gammes de débit moyen du quartile supérieur et d'indice de productivité

On peut nuancer le caractère « imperméable » de certaines unités. En effet, le travail mené ici consiste à caractériser la nature des aquifères de socle en comparaison avec les autres aquifères nationaux. La perméabilité des formations de socle est faible par rapport aux formations sédimentaires (bassin Parisien et Aquitain par exemple), néanmoins les formations notées ici « imperméables » peuvent fournir localement des débits instantanés supérieurs à 20-30 m^3/h.

Les résultats des formations renseignées par les forages (texte écrit en bleu dans le tableau des Domaines, Unités et Formations, illustration A26) montrent que :

- le comportement aquifère semble homogène au sein de 6 Unités (exemples : Unités de Fougères, de Morlaix-Elorn et Batholite Médio-Armoricain) ;
- sur 15 Unités (exemples : Unités de Saint-Brieuc, de Châteaulin, des Landes de Lanvaux, de Saint-Nazaire et Batholite de Huelgoat-Plouaret-Plounéour), les différences de comportement amènent à utiliser les formations géologiques comme contours géologiques permettant de caractériser les entités NV3 ;
- 12 Unités sont renseignées par une seule formation (exemples : Unités de Champtoceaux et de Groix-Céné) ;
- pour les 7 Unités restantes, la nature aquifère (ou pas) est estimée soit à partir de la seule formation renseignant l'Unité (souvent la plus importante en superficie) soit par ressemblance lithologique avec une Unité voisine.

Enfin, pour chaque formation géologique ou Unité ou Batholite où il n'est pas possible de caractériser sa nature (absence de forage, ressemblance lithologique difficile à établir…), elle est indiquée comme « inconnue » (41 entités géologiques).

A l'issue de cette étape, 159 entités géologiques à 1/250 000 (16 Unités/Batholites et 143 formations) sont caractérisées par leur nature aquifère (ou pas).

Les résultats obtenus ont été comparés avec plusieurs études bibliographiques (Rapports BRGM 93.04 et R38264, thèse A. CARN 1983, article scientifique R. WYNS et al. 2004 et notices des cartes géologiques à 1/50 000) dont les cartes de synthèse du projet SILURES Bretagne (Rapport BRGM/RP-56457-FR).

4.2.3. Création des entités géologiques à 1/50 000

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

Or, les entités hydrogéologiques de niveau NV3 devant être caractérisées au 1/50 000, **une correspondance entre les cartes géologiques (harmonisées au 1/50 000 et synthétique au 1/250 000) a dû être établie.** Celle-ci a pu être réalisée au 1/50 000

sur les départements 29-35-56 et au 1/250 000 sur le département 22 comme la carte géologique harmonisée n'était pas disponible.

Dans la carte harmonisée du 35, le champ « LITHOTEC » permet de rassembler les contours en Unités ou Batholites. Ce champ n'existe pas sur les cartes harmonisées du 29 et du 56, il faut alors rechercher un par un les codes associés à chaque Unité ou Batholite.

Les formations de 15 Unités (Unités de Saint-Brieuc, du Trégor, de Châteaulin, de Laval, du Menez-Belair, de Bretagne Centrale, du Sud de Rennes, des Landes de Lanvaux, de Péaule, de Saint-Gilles et de la Vilaine, de Saint-Nazaire, du Pouldu, Batholite de Huelgoat-Plouaret-Plounéour, de Ploumanac'h et de la Baie de Morlaix, et Orthogneiss Sud-Armoricains), sont détaillées en recherchant leurs codes (champ « CODE », cf. illustration A26). Les filons et les altérites sont rattachés à chaque entité dans laquelle ils se trouvent.

Pour finir, les entités des 4 départements de la région ont été assemblées.

De ce traitement résultent 159 entités géologiques à 1/50 000 (départements 29-35-56) et à 1/250 000 (département 22) (cf. illustration A29).

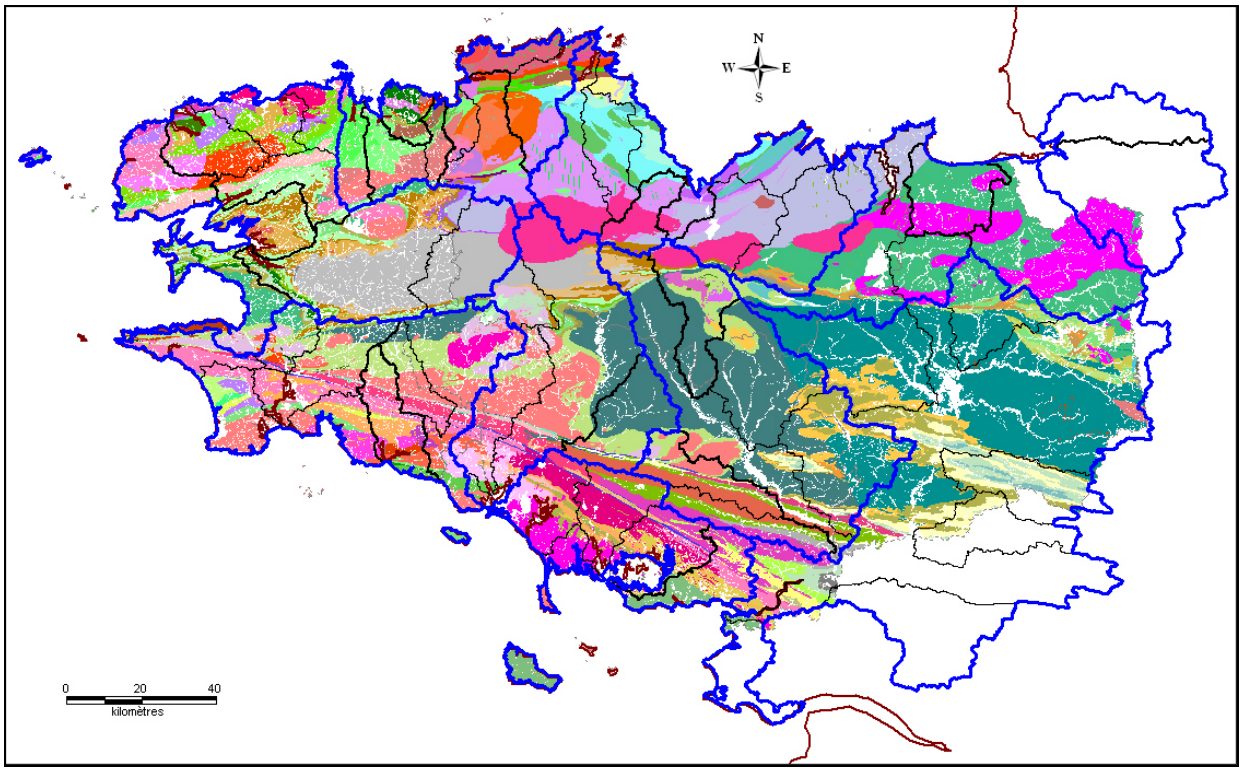


Illustration A29 - Entités géologiques sur les départements 22-29-35-56

4.2.4. Caractérisation des entités NV3 finalisées

Les 159 entités géologiques et les 62 bassins versants entités NV3 ont été utilisés.

Les pourcentages de superficie renseignée par les natures géologiques « aquifère, semi-perméable, imperméable et inconnue » ont été affectés à toutes les entités NV3 (injection de l'information hydrogéologique dans les bassins versants).

Remarque : des polygones étant non renseignés (exemple : absence de socle sous les alluvions), le total des pourcentages de chaque bassin n'atteint pas toujours les 100 %.

De la même façon, la lithologie des formations est affectée aux entités NV3 (injection de l'information géologie dans les bassins versants).

L'annexe 1-3 détaille et illustre le travail mené au cours des étapes de ce dernier traitement.

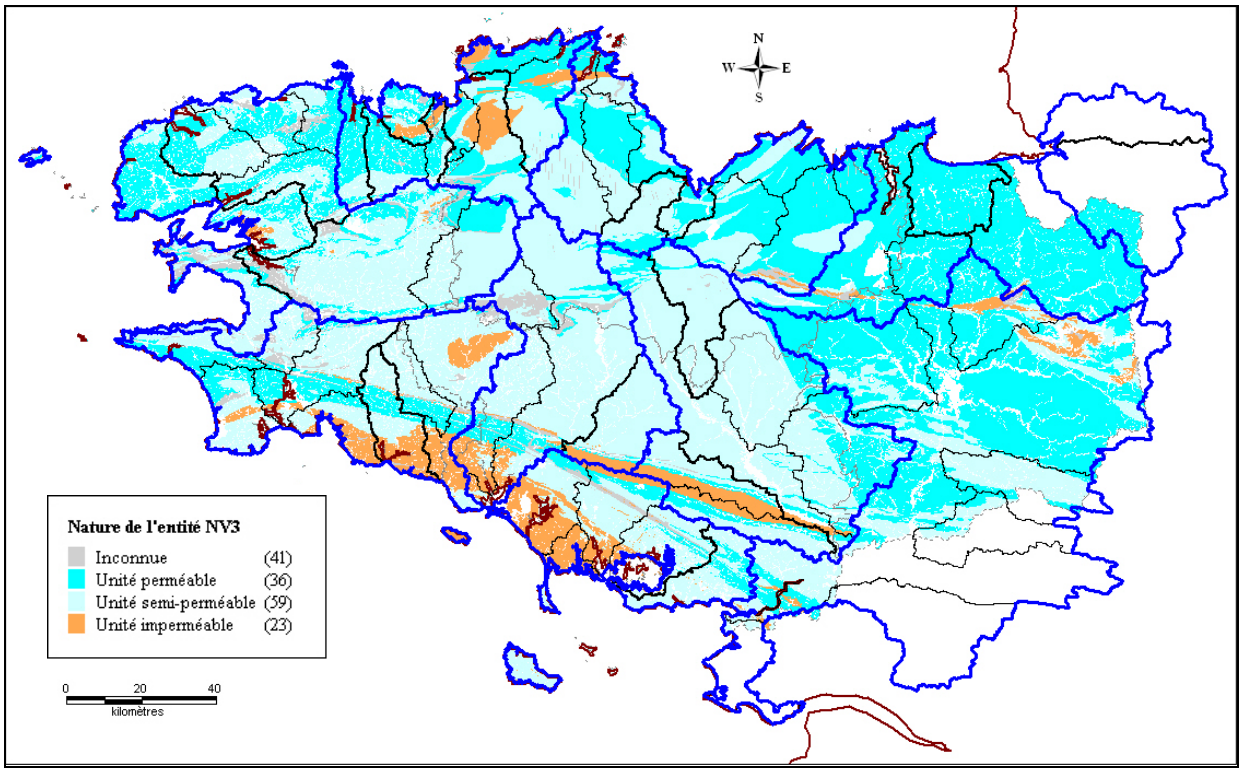


Illustration A30 - Cartographie de la nature des entités de socle de niveau NV3 (départements 22-29-35-56)

Références bibliographiques

1) Identification et délimitation des entités

A. CARN - Etude du gisement aquifère. Chapitre 3. In Contribution à l'étude hydrogéologique des volcanites du Trégor. Thèse : Sciences Naturelles. Soutenue le 24 Mai 1983 à Montpellier 172 p.

MOUGIN B., collaboration : CARN A., JEGOU J-P. et QUEMENER G. (2006) - SILURES Bretagne - Rapport d'avancement de l'année 4 - BRGM/RP-55001-FR - 61 p., 23 ill., 5 ann.

B. MOUGIN, D. ALLIER, R. BLANCHIN, A. CARN, N. COURTOIS, C. GATEAU, E. PUTOT, collaboration J-P. JEGOU, P. LACHASSAGNE, P. STOLLSTEINER et R. WYNS (2008) - SILURES Bretagne - Rapport final - Année 5 - BRGM/RP-56457-FR - 129 p., 37 ill., 7 ann. dont 2 planches.

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

RABU D., CHANTRAINE J. et BECHENNEC F., 2001. Carte géologique du Massif Armoricain à 1/ 250 000. BRGM

H. TALBO (1993) - Aptitudes des formations géologiques de Bretagne à l'installation d'un centre technique d'enfouissement – Rapport BRGM 93.04

H. TALBO (1995) - Schéma régional d'alimentation en eau potable – Nouvelles ressources en eau souterraine potentiellement mobilisables – Rapport BRGM R38264

WYNS, R., J. M. BALTASSAT, P. LACHASSAGNE, A. LEGCHENKO, J. VAIRON and F. MATHIEU, Application of Magnetic Resonance Soundings for groundwater reserves mapping in weathered basement rocks (Brittany, France), Bulletin de la Société Géologique de France t. 175 (1) (2004) 21-34.

2) Bibliographie des bassins Cénozoïque de Bretagne

ARCHAMBAULT J. et LAMBLIN J-M. (BURGEAP) – 1971 – Ressources en eau des bassins tertiaires du bassin de la Vilaine – Rapport R.57 pour l'Agence financière du bassin Loire-Bretagne. 74 pages

L. BRUNEL (1971) - Etude hydrogéologique du Bassin de Bruz-Chartres – Rapport BRGM 71 SGN 003 BPL

L. BRUNEL et J. DEPAGNE (1973) - Etude hydrologique du Bassin Tertiaire de St Grégoire (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 73 SGN 213 BPL

L. BRUNEL et H. TALBO (1978) - Bassin tertiaire de Saint Aubin d'Aubigné (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 78 SGN 266 BPL

L. BRUNEL et H. TALBO (1978) - Bassin tertiaire de Médréac (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 78 SGN 267 BPL

L. BRUNEL et H. TALBO (1978) - Bassin tertiaire de Landujan (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 78 SGN 268 BPL

L. BRUNEL et H. TALBO (1978) - Bassin tertiaire de Mernel (Ille-et-Vilaine) – Rapport BRGM 78 SGN 269 BPL

L. BRUNEL et H. ETIENNE (1978) - Bassin tertiaire de la Gaumonnerie à Rannée - Exploitation du nouveau forage NEF 2 (354-7-68) – Rapport BRGM SGR/BRE 78-20

ESTEOULE-CHOUX J. (1967). Contribution à l'étude des argiles du Massif armoricain. Argiles d'altération et argiles sédimentaires tertiaires. Thèse, Rennes, 1967, 307 p.

S. KUKLAN (1970) - Etude hydrogéologique des formations aquifères du bassin de Langon – Rapport BRGM 70 SGN 005 BPL

H. TALBO (1981) - Etude hydrogéologique du bassin tertiaire de Meneu. Commune de Pipriac – Rapport BRGM SGR/BRE 81-15

THOMAS E. (1999) – Evolution cénozoïque d'un domaine de socle : le Massif Armoricain. Thèse d'Université, Rennes 1, 126 p.

3) Références bibliographiques des études hydrogéologiques où il y a eu des levers d'altérites

Bassin du Yar (22)

Qualité des eaux en Bretagne – Ruissellement – Infiltration – Temps de réponse – Secteur Côtes d'Armor (bassin du Yar) - BRGM (1998) – Rapport BRGM R 40412 22 p., 2 tabl, 3 annexes

Bassins de l'Horn (29) et du Coët-Dan (56)

Qualité des eaux en Bretagne – Ruissellement – Infiltration – Temps de réponse (2000) – Bassins versants : le Yar (Côtes d'Armor), l'Horn (Finistère), le Coët Dan (Morbihan) – Rapport BRGM RP-50262-FR, 47 p., 8 tabl., 8 figures, 6 cartes

B. MOUGIN, E. THOMAS, R. WYNS, R. BLANCHIN et F. MATHIEU (2004) - Qualité des eaux en Bretagne - Ruissellement - Infiltration - Temps de réponse - Bassins versants du Yar (22), de l'Horn (29), et du Coët Dan (56) - Rapport final - BRGM/RP-52731-FR - 82 p., 16 tab., 21 fig., 3 annexes, 39 planches

Etude de la rade de Brest (29)

B. MOUGIN, E. THOMAS, R. WYNS, R. BLANCHIN et F. MATHIEU (2003) - Comportement hydrodynamique des roches altérées de la surface sur le bassin versant de la rade de Brest (Finistère) - Rapport final - BRGM/RP-52656-FR - 54 p., 7 tab., 16 fig., 2 ann., 13 pl.

Bassins Dourduff (29), Oust (56), Yvel (56), Maudouve et Noë Sèche (22)

B. MOUGIN, E. THOMAS, F. MATHIEU, R. BLANCHIN et R. WYNS (2005) - SILURES Bassins Versants - Dourduff (29), Oust (56), Yvel (56), Maudouve et Noë Sèche (22) - Rapport final Année 2 - BRGM/RP-53742-FR - 98 p., 20 tabl., 21 fig., 3 ann. dont 56 planches (vol. séparé)

Bassin Nançon (35)

B. MOUGIN, J-M. BALTASSAT, R. BLANCHIN, E. PUTOT, J-M. SCHROETTER et R. WYNS (2008) - SILURES Bassin versant Ille-et-Vilaine - Bassin du Nançon - Rapport final - Année 2 - BRGM/RP-56318-FR - 82 p., 29 ill., 3 ann. dont 14 planches (vol. séparé)

Bassins Echelles (35), Gouessant (22), Urne (22), et Bizien (22)

B. MOUGIN, D. ALLIER, E. PUTOT, J-J. SEGUIN, J-M. SCHROETTER, R. BLANCHIN, collaboration : J-L. IZAC, J-P. JEGOU (2007) - Bassins versants bretons en contentieux européen : typologie et modélisation de l'évolution des concentrations en nitrates - Rapport d'avancement au 15 octobre - BRGM/RP-55842-FR – 123 p., 70 ill., 3 ann. dont 60 planches (vol. séparé)

Annexe 1-3
Injection des informations hydrogéologiques et géologiques dans les entités de socle NV3 (bassins versants)

Rappel du principe

La démarche proposée permet d'aboutir à un découpage du socle (relativement) homogène à l'échelle du territoire Français : il s'agit de découper les entités NV2 en bassins versants de la BD Carthage (en général des « sous-secteurs » au sens BD Carthage) et d'injecter l'information hydrogéologique existante dans ces bassins, qui deviennent alors des entités NV3 avec leur propre code.

Démarche

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

- 1) Intersection de ces regroupements avec (selon les cas) les zones hydrographiques (ZH) ou sous-secteurs (SSH) BD Carthage (illustration A31, reprise du travail fait dans les départements 49 et 72 en année 2). Calcul dans chaque polygone du % de classe de perméabilité et/ou de lithologie (illustration A32).
- 2) Sélection d'une classe de perméabilité ou de lithologie dans la table précédente (illustration A33, avec la perméabilité) soit, en reprenant la codification du guide méthodologique :
    - imperméable (code 7)
    - semi-perméable (code 6)
    - perméable (code 5)
    - inconnue (code 0)
- 3) Opération de "récapitulation" par zone hydrographique (puisque plusieurs polygones par zone). On obtient ainsi une table (non géométrique) par classe de perméabilité (ex : nature_7, nature_6, nature_5, cf. illustration A34).
- 4) Jointures successives de ces tables avec les zones hydrographiques pour récupérer les contours. On obtient ainsi une table (géométrique) comme celle présentée par l'illustration A34 ("*Entités_BV_nature*"), avec dans chaque bassin le % des types de perméabilité (des polygones étant non renseignés, on n'atteint pas toujours les 100%).

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

On peut conserver la table attributaire de l'étape 2 (après intersection) et y introduire le code entité NV3 (illustration 37).

L'intérêt de cette table attributaire est qu'on y trouve toute l'information de détail. Elle peut être intégrée au référentiel comme table dérivée (illustrations A35, A36 et A37).

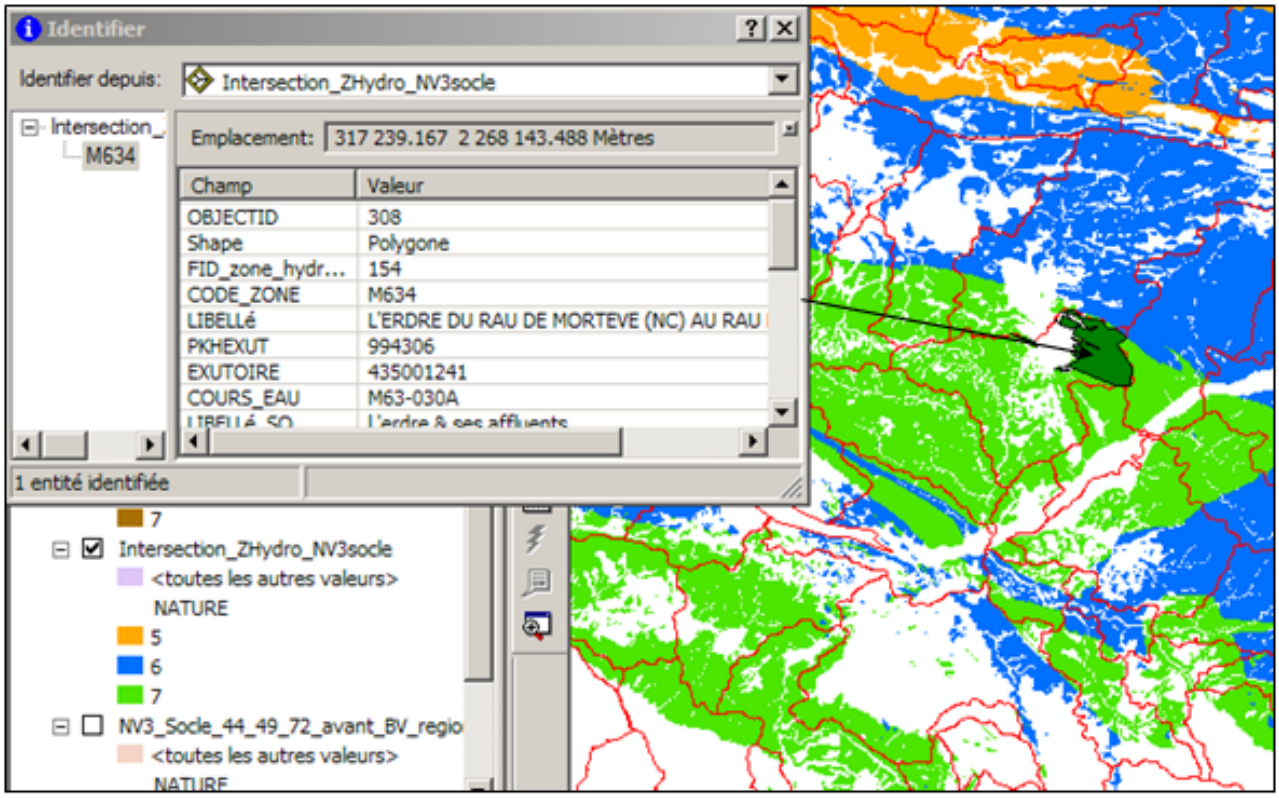
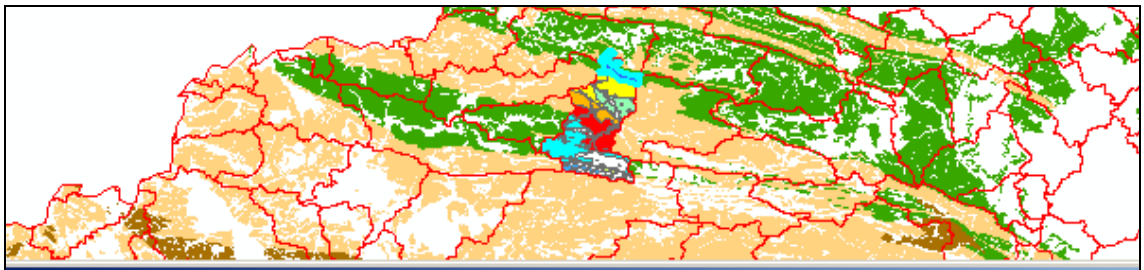


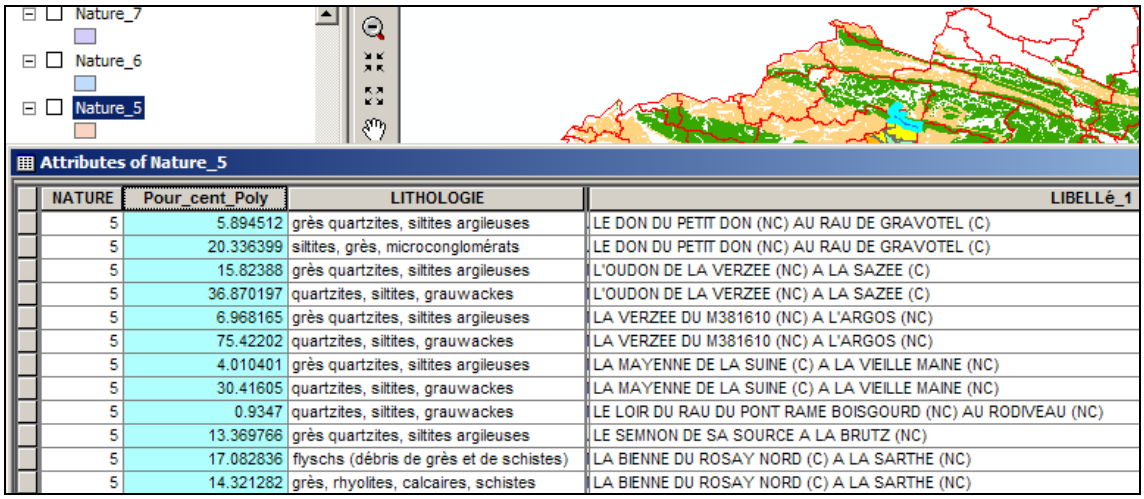
Illustration A31 - Intersection zones hydrographiques BD Carthage avec entités définies suivant méthodologie générale (exemple des départements 49 et 72)



Attributes of Jointure_avec_zones_hydro

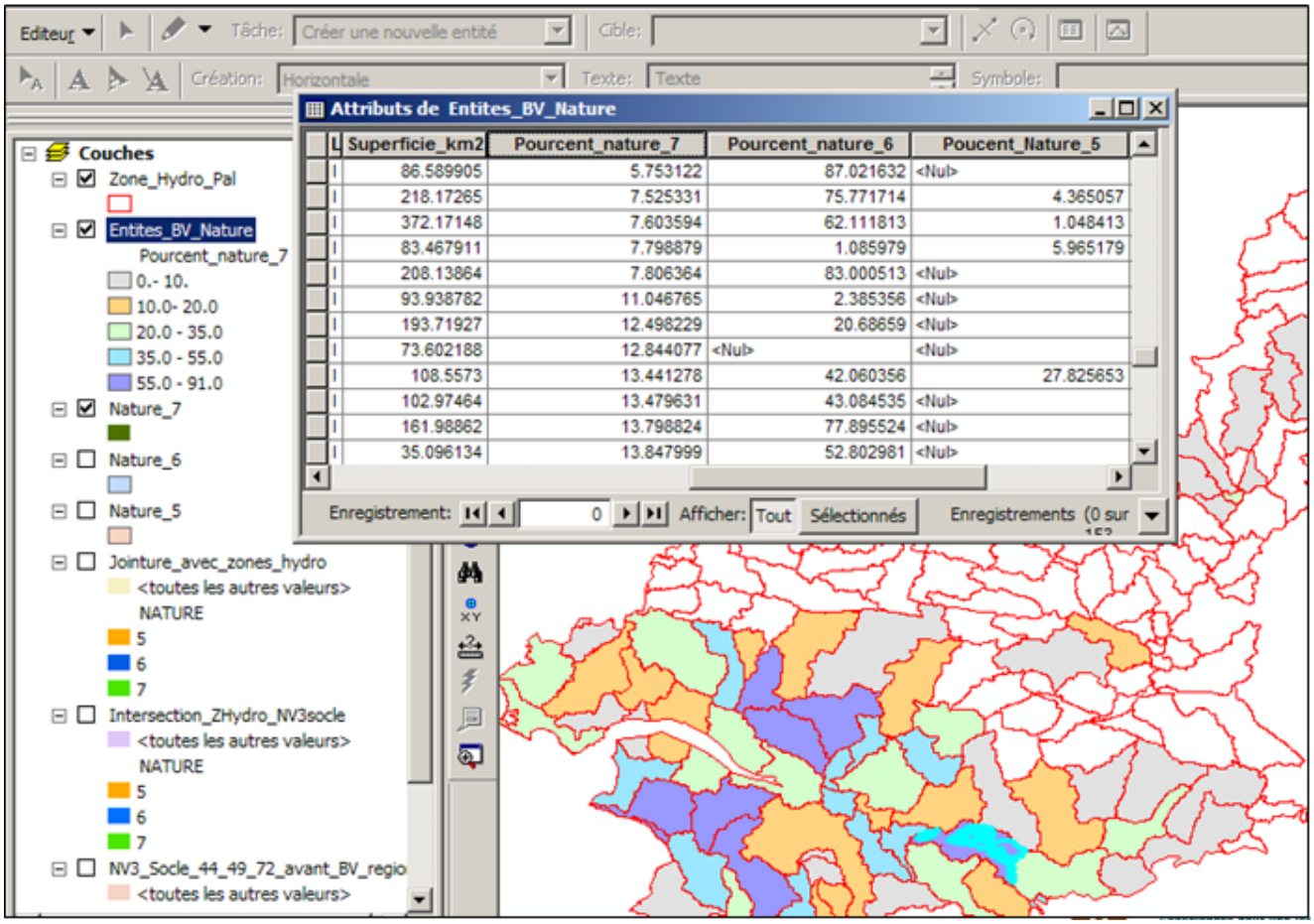
THEME	ETAT	MILIEU	NATURE	LITHOLOGIE	Pour_cent_Poly	intersection_CODE
3	2	2	5	grès quartzites, siltites argileuses	5.894512	J792
3	2	2	6	siltites	13.768663	J792
3	2	2	6	siltites gréseuses	0.944455	J792
3	2	2	6	argilites, grès quartzites	7.546312	J792
3	2	2	6	siltites, grès	1.276456	J792
3	2	2	6	grès, phtanites	8.192263	J792
3	2	2	6	schistes ardoisiers	17.735191	J792
3	2	2	5	siltites, grès, microconglomérats	20.336399	J792

Illustration A32 - Calcul du % de chaque polygone élémentaire contenu dans chaque bassin versant (ici un bassin de code 792), polygone caractérisé par un type de perméabilité (champ nature et code 5, 6, 7) et une lithologie (champ lithologie)



NATURE	Pour_cent_Poly	LITHOLOGIE	LIBELLé_1
5	5.894512	grès quartzites, siltites argileuses	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
5	20.336399	siltites, grès, microconglomérats	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL (C)
5	15.82388	grès quartzites, siltites argileuses	L'OUDON DE LA VERZEE (NC) A LA SAZEE (C)
5	36.870197	quartzites, siltites, grauwackes	L'OUDON DE LA VERZEE (NC) A LA SAZEE (C)
5	6.968165	grès quartzites, siltites argileuses	LA VERZEE DU M381610 (NC) A L'ARGOS (NC)
5	75.42202	quartzites, siltites, grauwackes	LA VERZEE DU M381610 (NC) A L'ARGOS (NC)
5	4.010401	grès quartzites, siltites argileuses	LA MAYENNE DE LA SUINE (C) A LA VIEILLE MAINE (NC)
5	30.41605	quartzites, siltites, grauwackes	LA MAYENNE DE LA SUINE (C) A LA VIEILLE MAINE (NC)
5	0.9347	quartzites, siltites, grauwackes	LE LOIR DU RAU DU PONT RAME BOISGOURD (NC) AU RODIVEAU (NC)
5	13.369766	grès quartzites, siltites argileuses	LE SEMNON DE SA SOURCE A LA BRUTZ (NC)
5	17.082836	flyschs (débris de grès et de schistes)	LA BIENNE DU ROSAY NORD (C) A LA SARTHE (NC)
5	14.321282	grès, rhyolites, calcaires, schistes	LA BIENNE DU ROSAY NORD (C) A LA SARTHE (NC)

Illustration A33 – Sélection d'une classe de perméabilités (champ nature, polygones de code 5)



L	Superficie_km2	Pourcent_nature_7	Pourcent_nature_6	Poucent_Nature_5
I	86.589905	5.753122	87.021632	<Nul>
I	218.17265	7.525331	75.771714	4.365057
I	372.17148	7.603594	62.111813	1.048413
I	83.467911	7.798879	1.085979	5.965179
I	208.13864	7.806364	83.000513	<Nul>
I	93.938782	11.046765	2.385356	<Nul>
I	193.71927	12.498229	20.68659	<Nul>
I	73.602188	12.844077	<Nul>	<Nul>
I	108.5573	13.441278	42.060356	27.825653
I	102.97464	13.479631	43.084535	<Nul>
I	161.98862	13.798824	77.895524	<Nul>
I	35.096134	13.847999	52.802981	<Nul>

Illustration A34 – Table attributaire après caractérisation des entités par classe de perméabilité

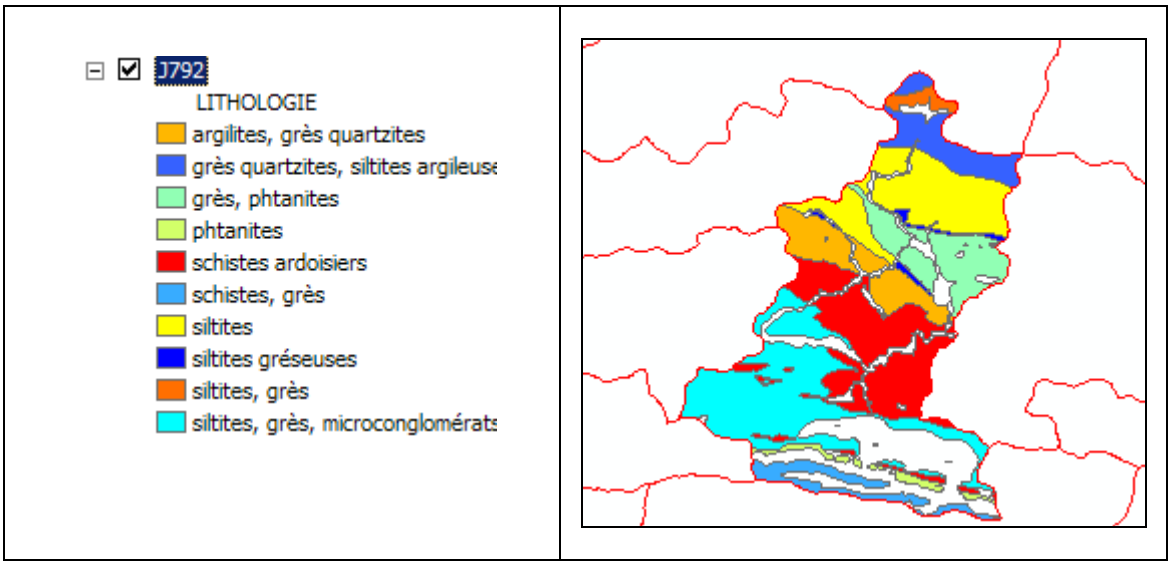


Illustration A35 – Exemple d'un BV-Entité caractérisé par une lithologie
(sélection dans la table attributaire issue de l'étape d'intersection)
(en blanc les polygones non renseignés)
La lithologie est ici bien détaillée mais peut aussi être réduite à quelques grandes classes

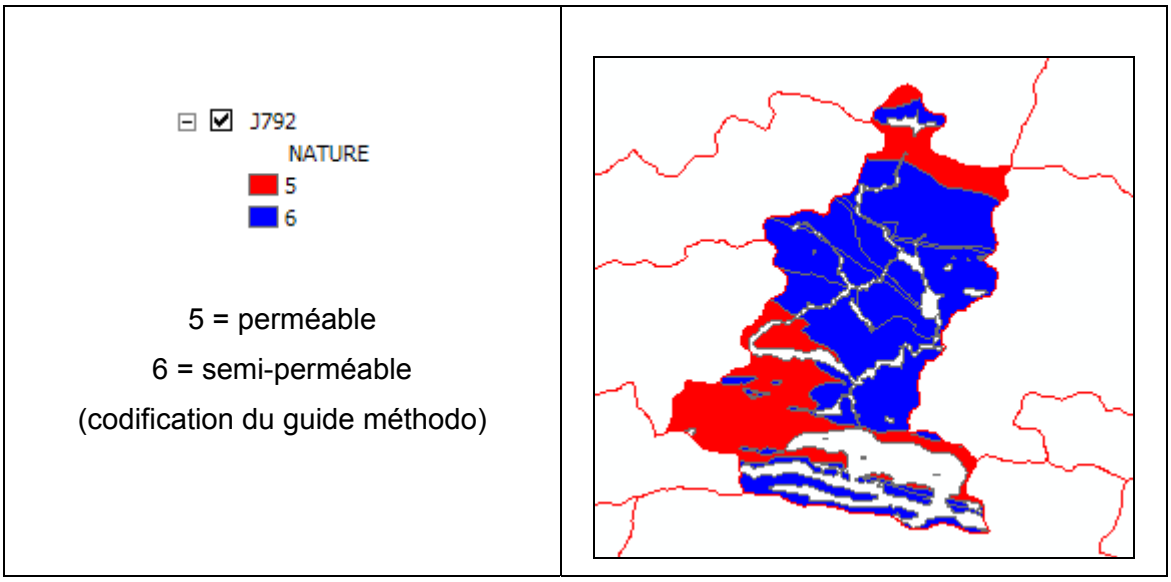


Illustration A36 – Exemple d'un BV-Entité caractérisé par une classe de perméabilité
(sélection dans la table attributaire issue de l'étape 2)
(en blanc les polygones non renseignés)

THEME	NATURE	ETAT	MILIEU	NIVEAU	LITHOLOGIE	CODE_ZONE	LIBELLé_1	Superficie	Pour_cent_Lithol
3	5	2	2	3	grès quartzites, siltites argileuses	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	5.89451
3	6	2	2	3	siltites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	13.7687
3	6	2	2	3	siltites gréseuses	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	0.944455
3	6	2	2	3	argilites, grès quartzites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	7.54631
3	6	2	2	3	siltites, grès	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	1.27646
3	6	2	2	3	grès, phtanites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	8.19226
3	6	2	2	3	schistes ardoisiers	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	17.735201
3	5	2	2	3	siltites, grès, microconglomérats	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	20.336399
3	6	2	2	3	phtanites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	1.54572
3	6	2	2	3	schistes, grès	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	3.85752

Illustration A37 – Extrait table attributaire du BV-Entité J792

Autre exemple

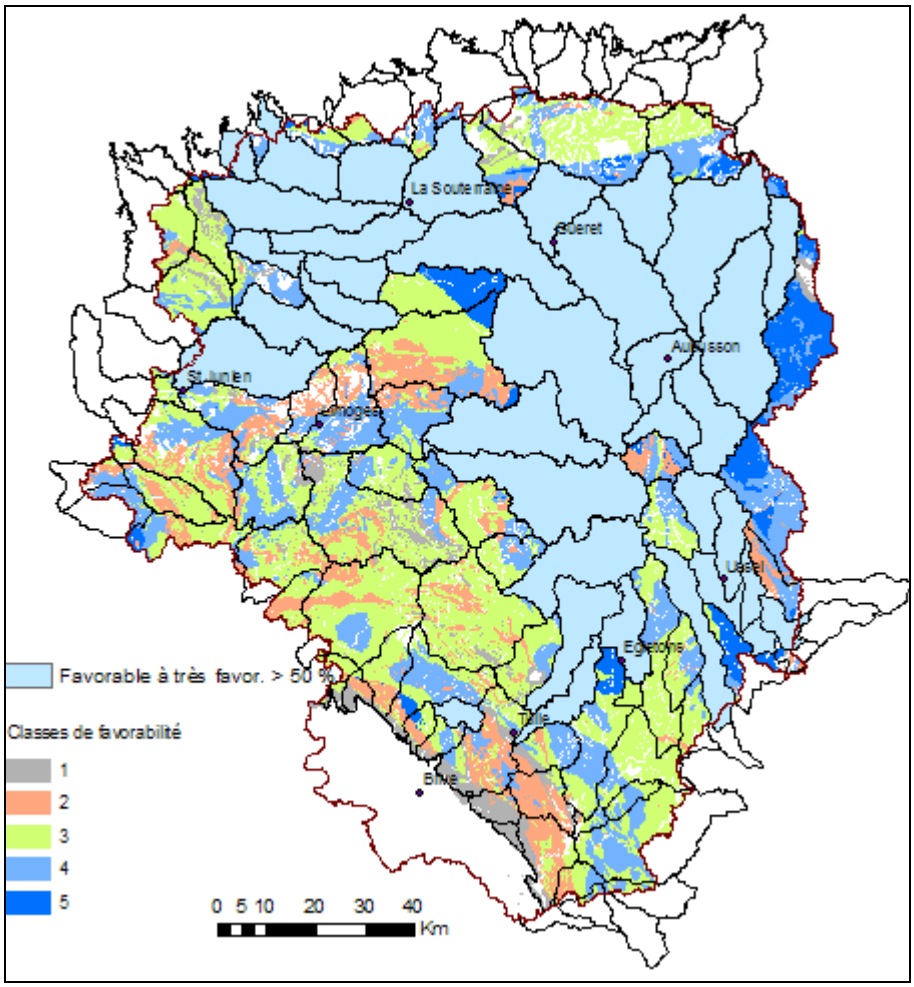
Cet exemple est relatif au socle en région Limousin où les entités NV3 ont pu être caractérisées par un critère "favorabilité" (potentiel aquifère).

Cette caractérisation a été faite avec ArcGis par intersection de la carte du "potentiel aquifère" avec la carte des entités BV-NV3.

Puis, par une suite d'opérations :

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

on aboutit à une carte et à une table attributaire associée où chaque entité NV3 est caractérisée par un pourcentage de "favorabilité" (illustration A38). Les classes de favorabilité 4 et 5 ont été regroupées (favorable à très favorable, équivalent de "nature=5" du guide méthodologique), de même que les classes 1 et 2 (défavorable à peu favorable, équivalent de "nature=7). La classe de favorabilité 3 (moyennement favorable) peut correspondre quant à elle à "nature=6".



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

Illustration A38 - Table attributaire après caractérisation des entités par classe de « favorabilité » (potentiel aquifère)

En résumé

1) Une table attributaire ainsi construite,

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

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

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

Opérations possibles :

1) sélection des entités où les formations perméables (nature_5) occupent plus de 50 % de la superficie de l'entité" (illustration A38)

2) ou bien caractérisation des entités par le % d'un type de nature (illustration A34)

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

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

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

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

Mêmes opérations possibles que celles ci-dessus.

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

THEME	NATURE	ETAT	MILIEU	NIVEAU	LITHOLOGIE	CODE_ZONE	LIBELLé_1	Superficie	Pour_cent_Lithol
3	5	2	2	3	grès quartzites, siltites argileuses	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	5.89451
3	6	2	2	3	siltites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	13.7687
3	6	2	2	3	siltites gréseuses	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	0.944455
3	6	2	2	3	argilites, grès quartzites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	7.54631
3	6	2	2	3	siltites, grès	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	1.27646
3	6	2	2	3	grès, phtanites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	8.19226
3	6	2	2	3	schistes ardoisiers	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	17.735201
3	5	2	2	3	siltites, grès, microconglomérats	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	20.336399
3	6	2	2	3	phtanites	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	1.54572
3	6	2	2	3	schistes, grès	J792	LE DON DU PETIT DON (NC) AU RAU DE GRAVOTEL	124.322	3.85752

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

Annexe 2

Lexique de caractérisation des entités d'après le guide méthodologique (Rapport BRGM RP-52261-FR)

1. Caractérisation des entités

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

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

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

Thème de rattachement des entités à une formation géologique

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

Nature des entités

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

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

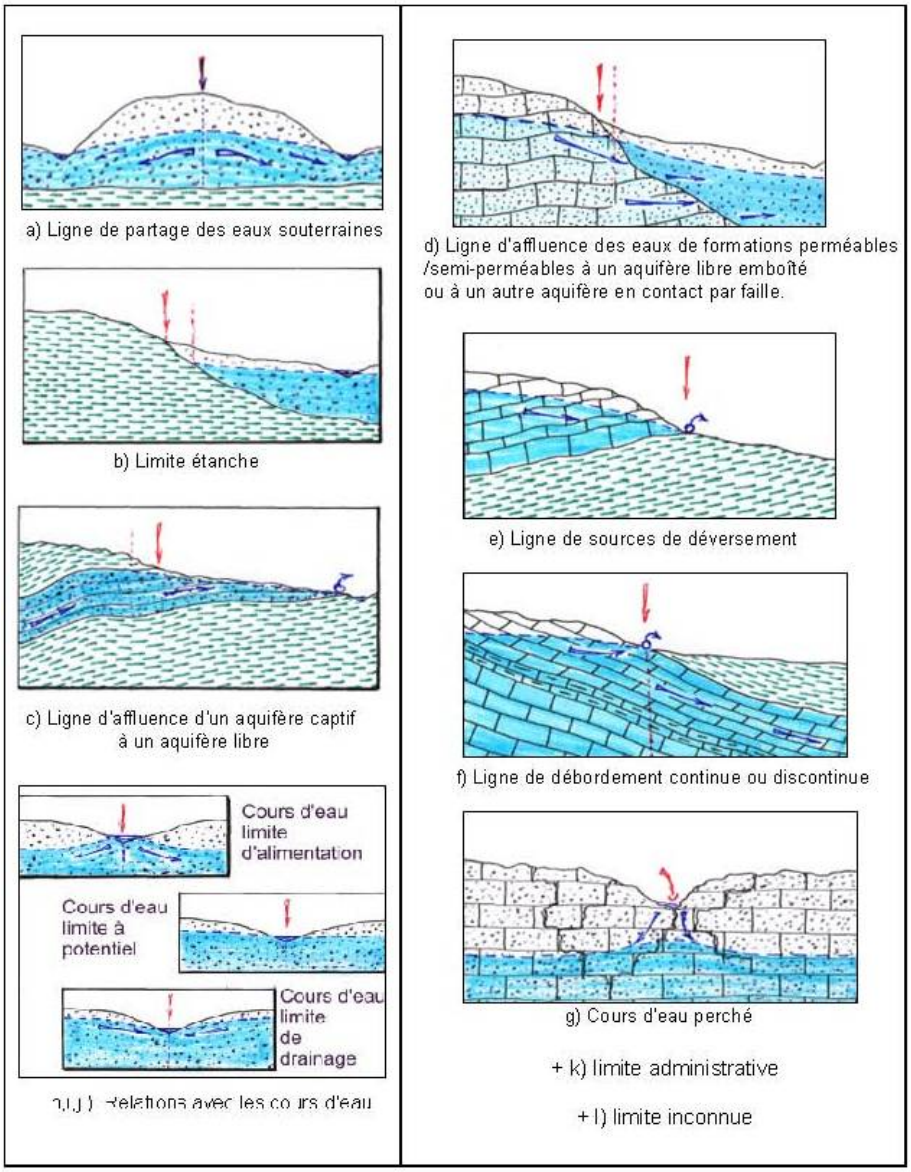
Type de **milieu** (porosité)

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

Etat de la nappe

2. Types de limites

12 types sont définis dans le guide méthodologique



Annexe 3

Le modèle de gestion du référentiel et la géodatabase des entités

1. Le modèle de gestion

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

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

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

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

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

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

2) de restituer ces informations, à savoir :

- le niveau de regroupement des entités (NV1, NV2, NV3),
- le code, le nom des entités,
- la nature des entités,
- le thème des entités,
- le type de milieu des entités,
- l'état des entités.
- la position relative des entités les unes par rapport aux autres
    - en deux dimensions (X,Y)
    - en trois dimensions (X,Y et ordre de recouvrement ou ordre absolu)
- la nature et le type de contact composant les limites entre les entités.

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

1.1. FONCTIONNALITÉS DU MODÈLE

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

1.1.1. Phase d'élaboration du référentiel

Le modèle de gestion permet :

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

1.1.2. Phase d'exploitation du référentiel

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

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

1.2. ORGANISATION ET PRINCIPES DE BASE DU MODÈLE

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

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

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

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

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

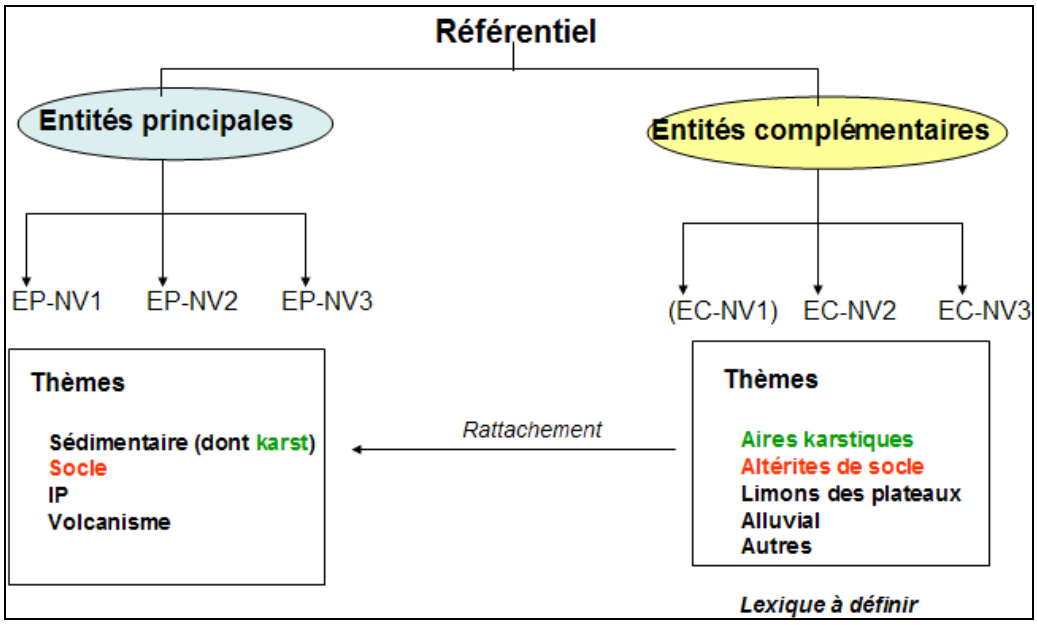


Illustration A1 – Organisation générale du référentiel

1.2.2. Ordonnancement vertical

Le modèle permet de passer automatiquement d'un ordonnancement absolu des entités (correspondant à l'ordre dans lequel toutes les entités identifiées se succèdent sur la verticale, en général un ordre correspondant à un âge stratigraphique) à un ordonnancement relatif, qui est celui de la représentation des entités dans le SIG et qui correspond à l'ordre réel de superposition des entités dans une coupe verticale qui pourrait être réalisée dans le référentiel (illustrations A2 et A3). Cet ordonnancement correspond à une classification topographique sous contrainte chronologique.

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

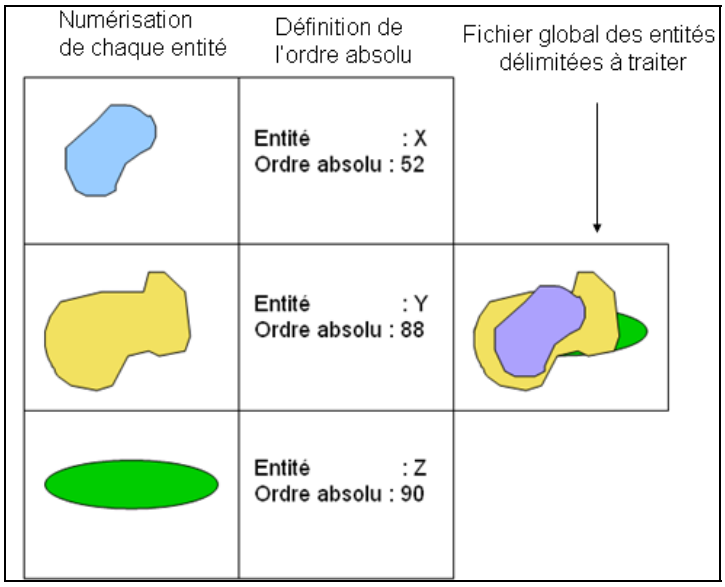


Illustration A2 – Ordonnancement des entités par un âge absolu

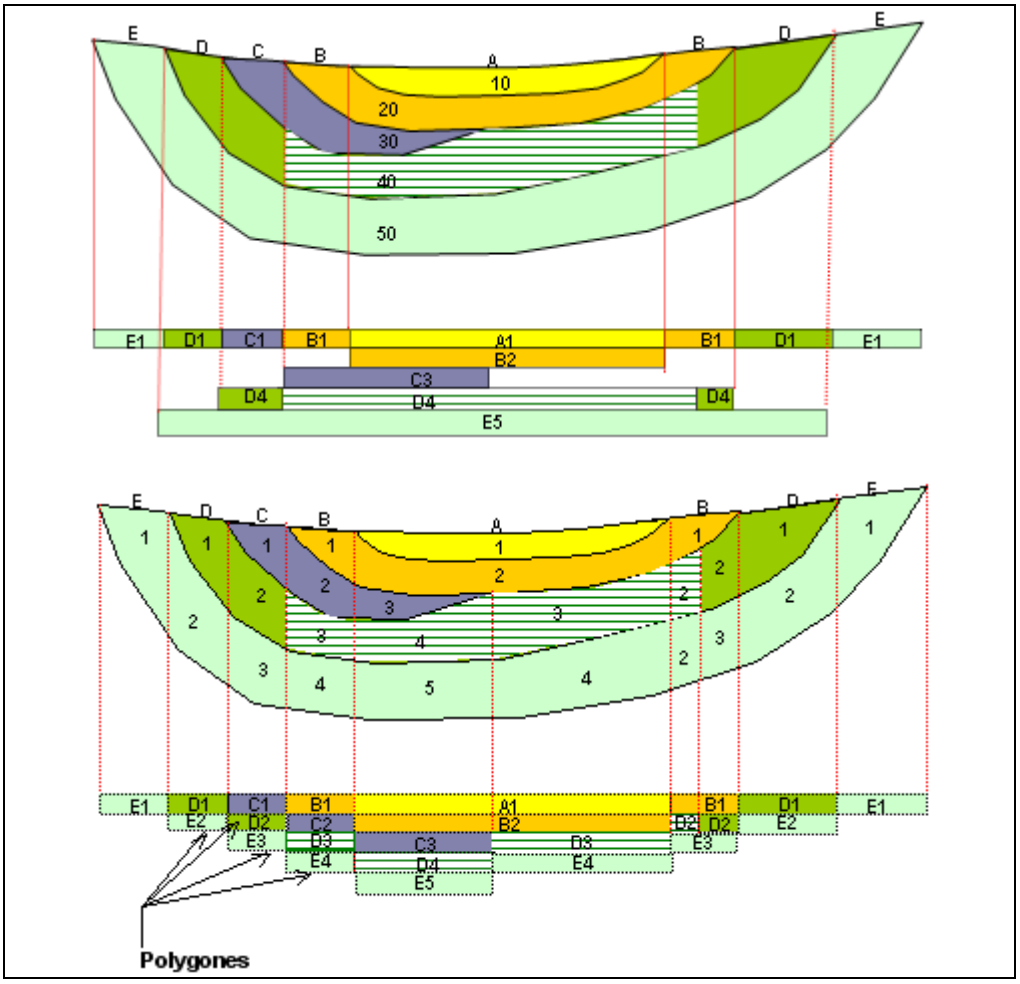


Illustration A3 - Passage d'un ordre absolu à un ordre relatif.

1.2.3. Complétude

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

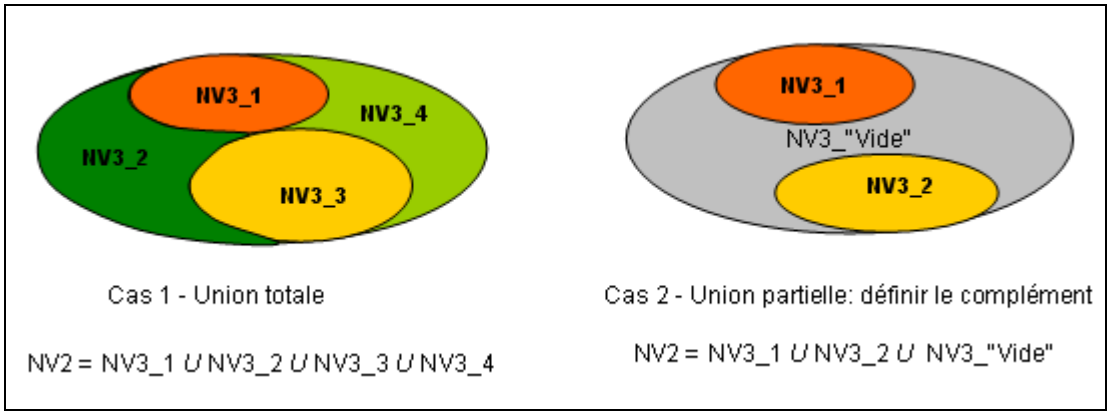


Illustration A4 - Reconstitution d'une entité de niveau 2 à par d'entités de niveau 3.

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

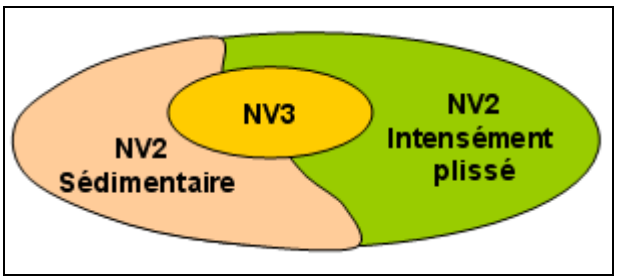


Illustration A5 – Entité de niveau 3 s'étendant sur 2 entités de niveau 2.

1.2.4. Héritage

• Attributs des entités

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

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

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

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

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

• Limites

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

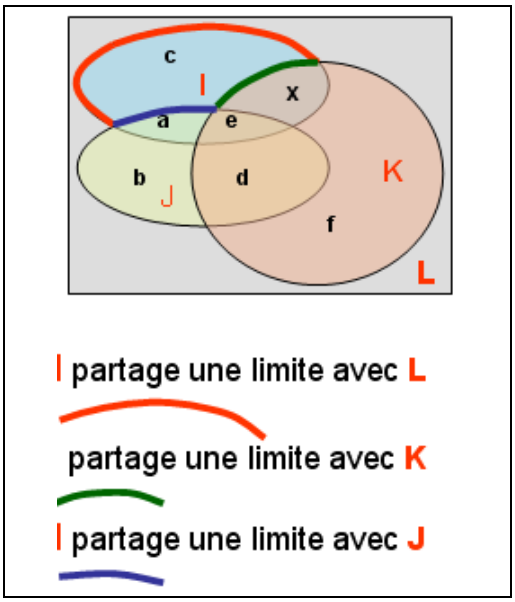


Illustration A6 – Restitution des limites des entités à partir de la table des polygones.

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

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

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

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

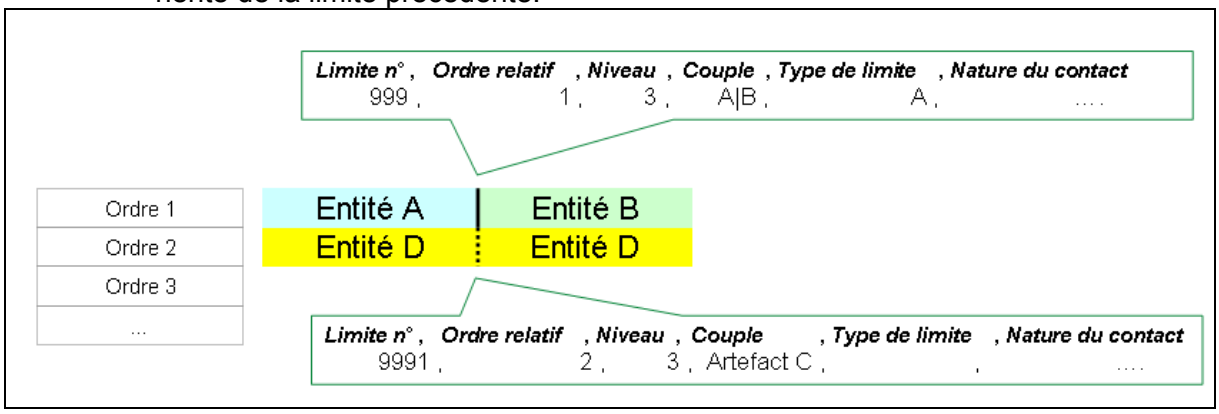


Illustration A7 – Exemple de contacts entre entités

Les artefacts de découpage sont conservés car ils peuvent être la cause de changement de type hydrogéologique des limites. Cette propriété est illustrée par la notion de **nature des contact**s que le référentiel déduit automatiquement de la

superposition relative des entités et l'analyse de leur nature. L'illustration suivante présente un schéma de définition de la nature des contacts déduits pour chacune des limites identifiées (artefacts compris).

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

Illustration A8 – Nature des contacts possibles entre entités

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

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

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

Illustration A9 – Types de limites

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

Illustration A9 (suite) – Types de limites

2. Géodatabase associée au modèle de gestion

2.1. MODÈLE CONCEPTUEL DES DONNÉES

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

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

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

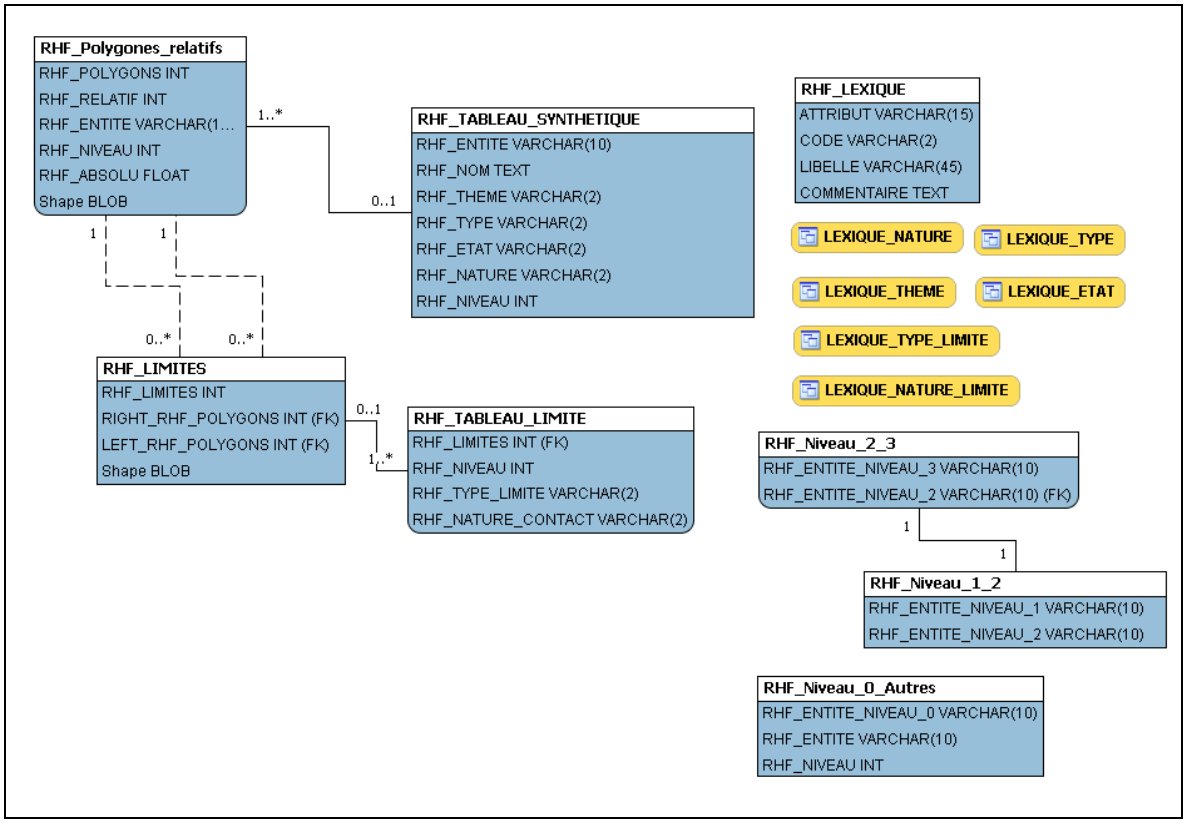
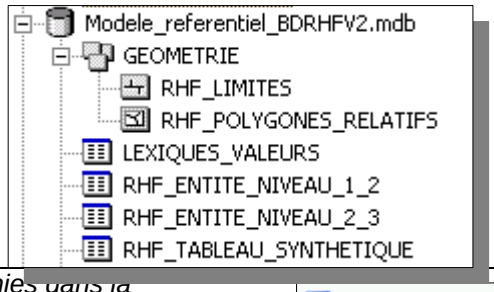


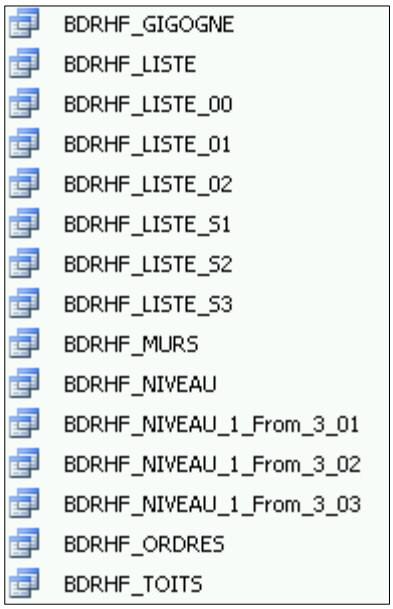
Illustration A10 – Modèle conceptuel de la géodatabase

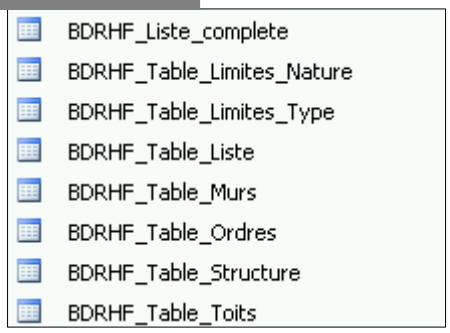
Remarque : par convention, les tables de données composant le fonds documentaire minimal de la géodatabase sont notées avec le préfixe **RHF_**. Les tables qui résultent de requêtes complexes dont le résultat est "figé" pour en faciliter la lecture sont préfixée avec **BDRHF_**

Liste des tables affichées à l'ouverture de la géodatabase



Liste des requêtes définies dans la géodatabase





Liste des tables crées par les requêtes précédentes

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

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

2.2. DESCRIPTION DES TABLES

2.2.1. Table des "RHF_Polygones relatifs"

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

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

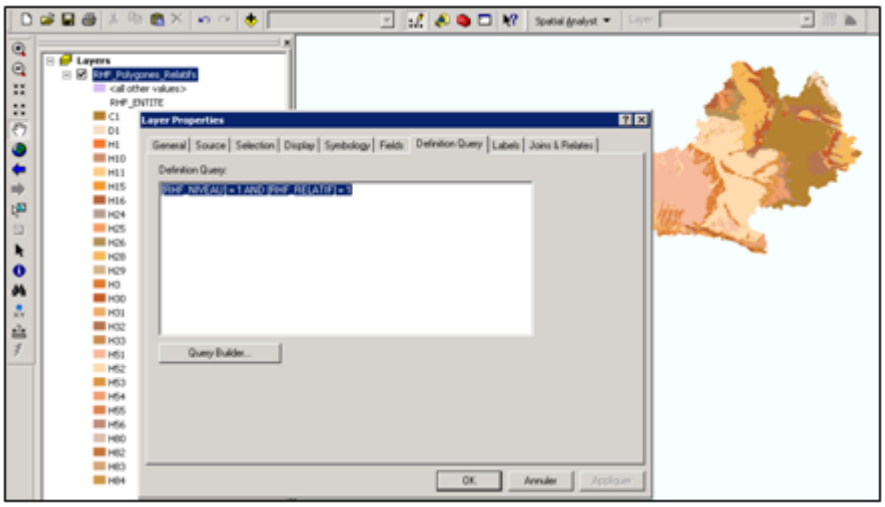


Illustration A12 – Table des polygones multiples de niveau 1 et d'ordre 1 en région MPY

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

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

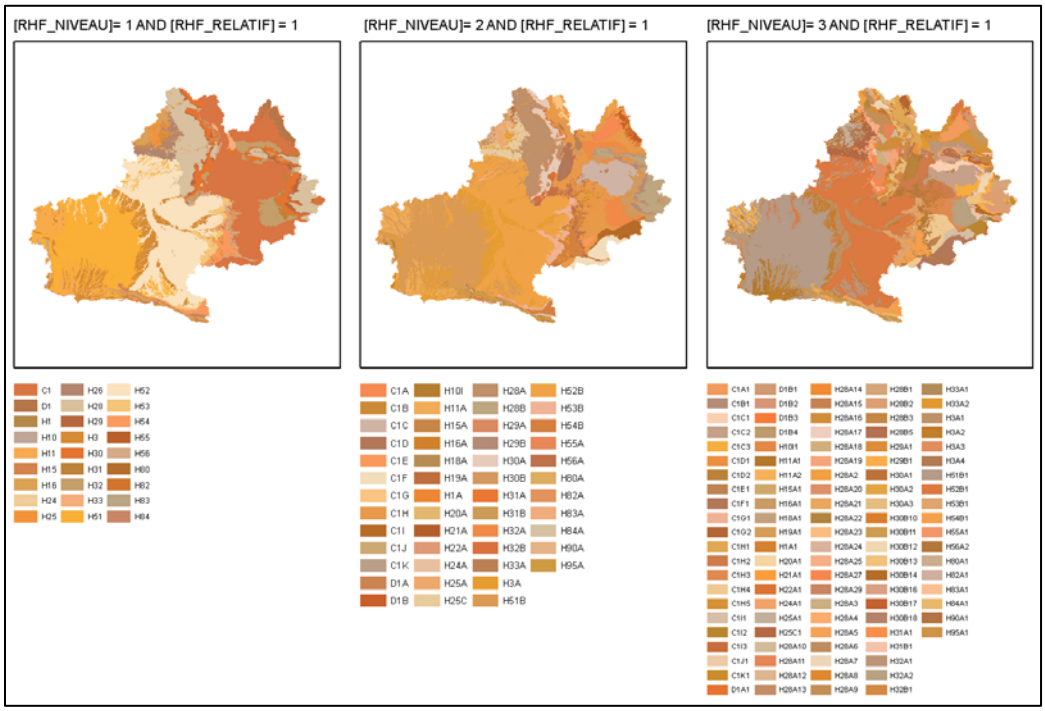
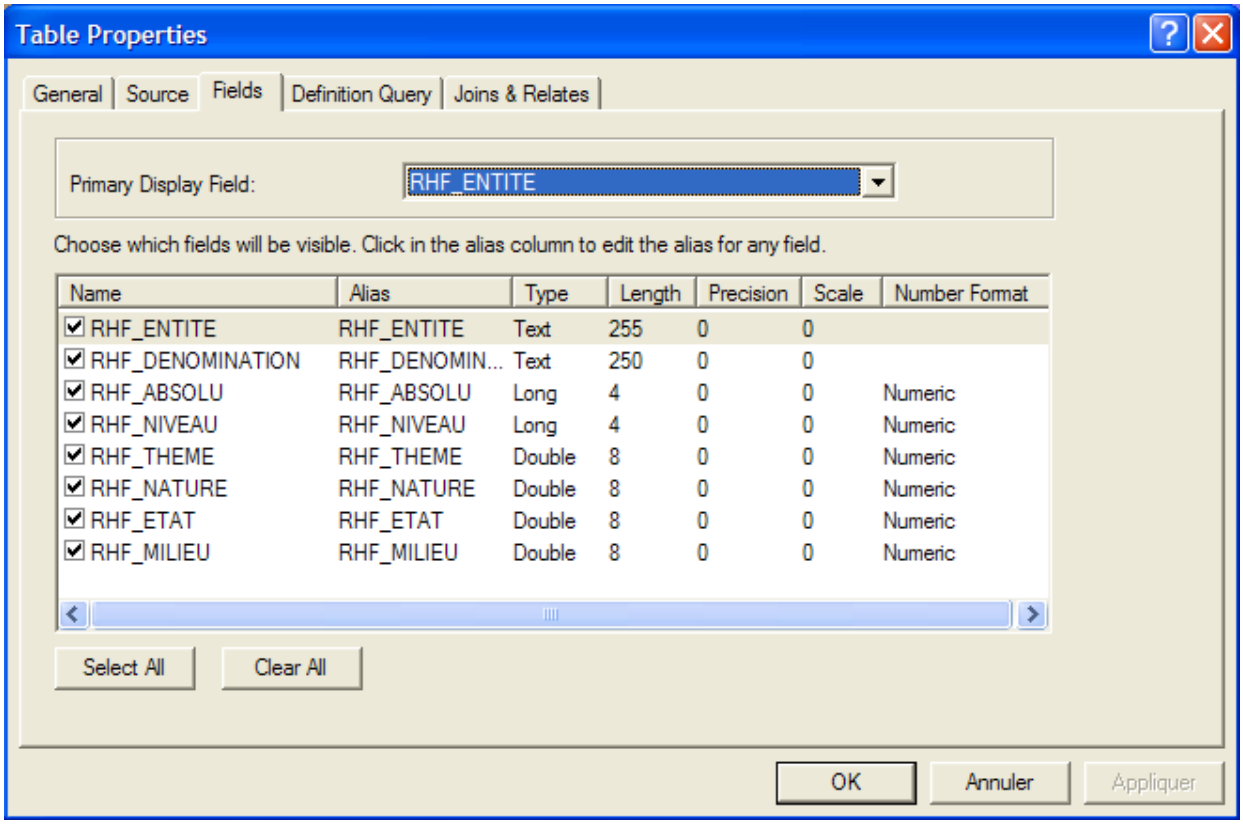


Illustration A13 – Sélection des entités d'ordre 1 pour les 3 niveaux de découpage du référentiel

2.2.2. Table RHF_Tableau_Synthetique

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



Name	Alias	Type	Length	Precision	Scale	Number Format
RHF_ENTITE	RHF_ENTITE	Text	255	0	0	
RHF_DENOMINATION	RHF_DENOMIN...	Text	250	0	0	
RHF_ABSOLU	RHF_ABSOLU	Long	4	0	0	Numeric
RHF_NIVEAU	RHF_NIVEAU	Long	4	0	0	Numeric
RHF_THEME	RHF_THEME	Double	8	0	0	Numeric
RHF_NATURE	RHF_NATURE	Double	8	0	0	Numeric
RHF_ETAT	RHF_ETAT	Double	8	0	0	Numeric
RHF_MILIEU	RHF_MILIEU	Double	8	0	0	Numeric

Illustration A14 - Table RHF_Tableau_Synthetique

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

Attributes of RHF_TABLEAU_SYNTHETIQUE

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

Illustration A15 – Jointure avec la table RHF_Tableau_Synthetique

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

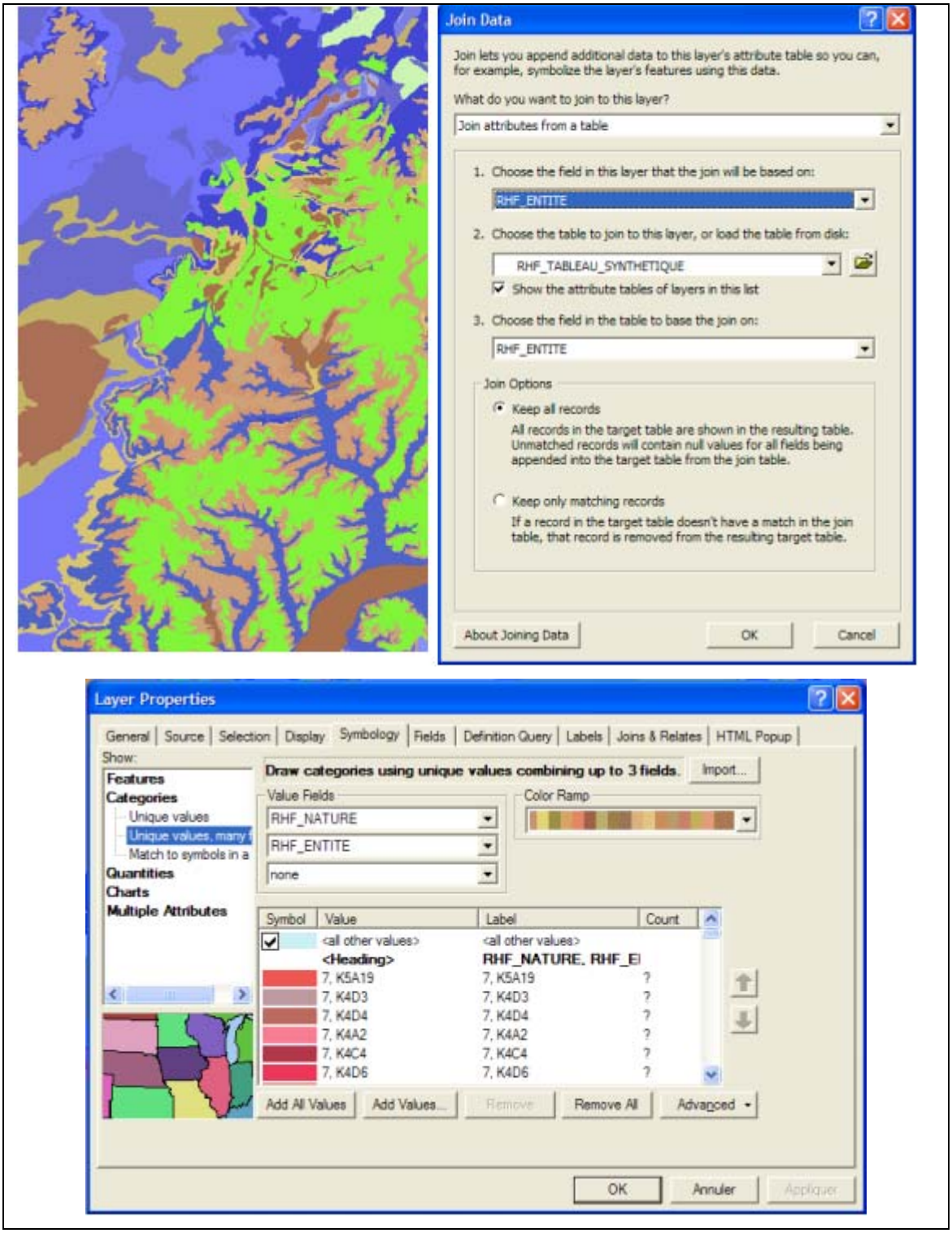


Illustration A16 –Exemple d'analyse thématique après jointure

2.2.3. Table des limites

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

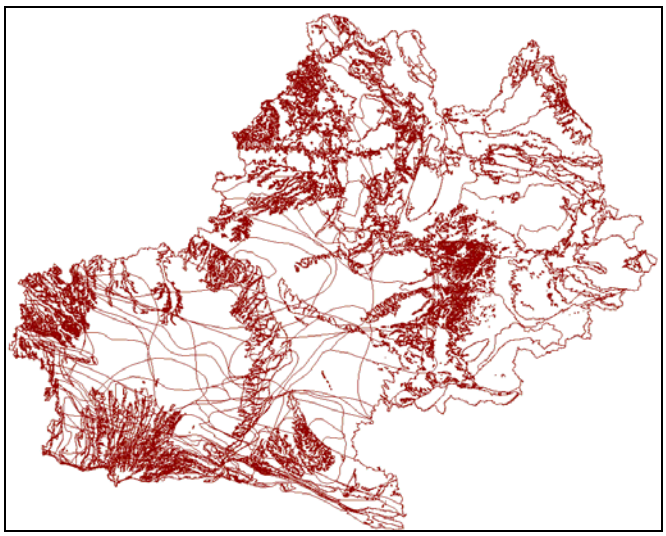


Illustration A17 – Table des limites des entités d'ordre 1

(exemple de la région Midi-Pyrénées)

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

2.2.4. Table RHF_Limites_nature

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

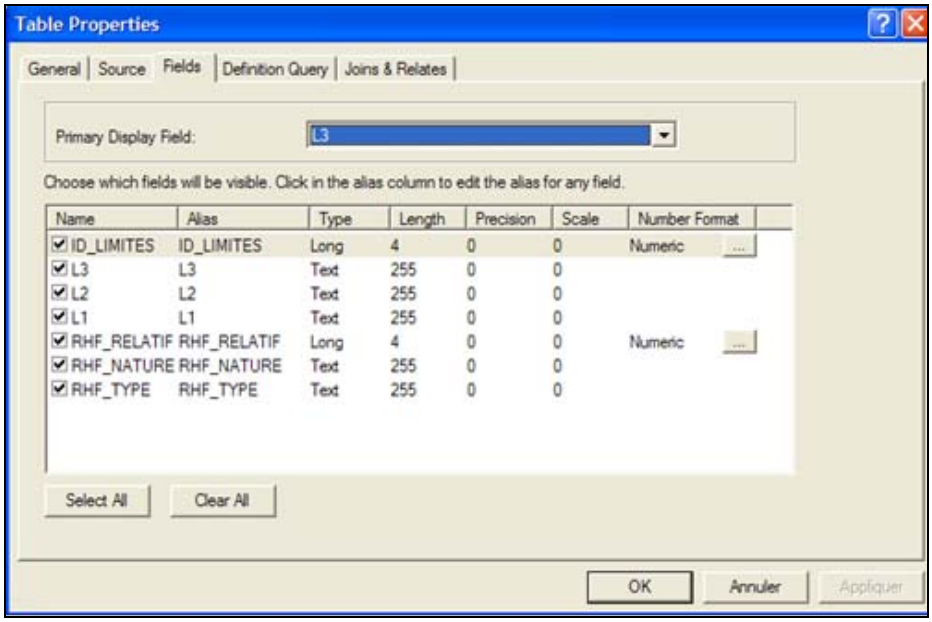


Illustration A18 – Table de la nature des limites

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

par exemple : |F10G1|F11T1|.

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

par exemple : |F10G1|Monde|.

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

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

par exemple : |F10G|F11T|.

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

par exemple : |F10G|Monde|.

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

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

par exemple : |F10|F11|.

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

par exemple : |F10|Monde|.

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

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

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

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

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

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

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

Illustration A19 – Lexique de la nature des contacts

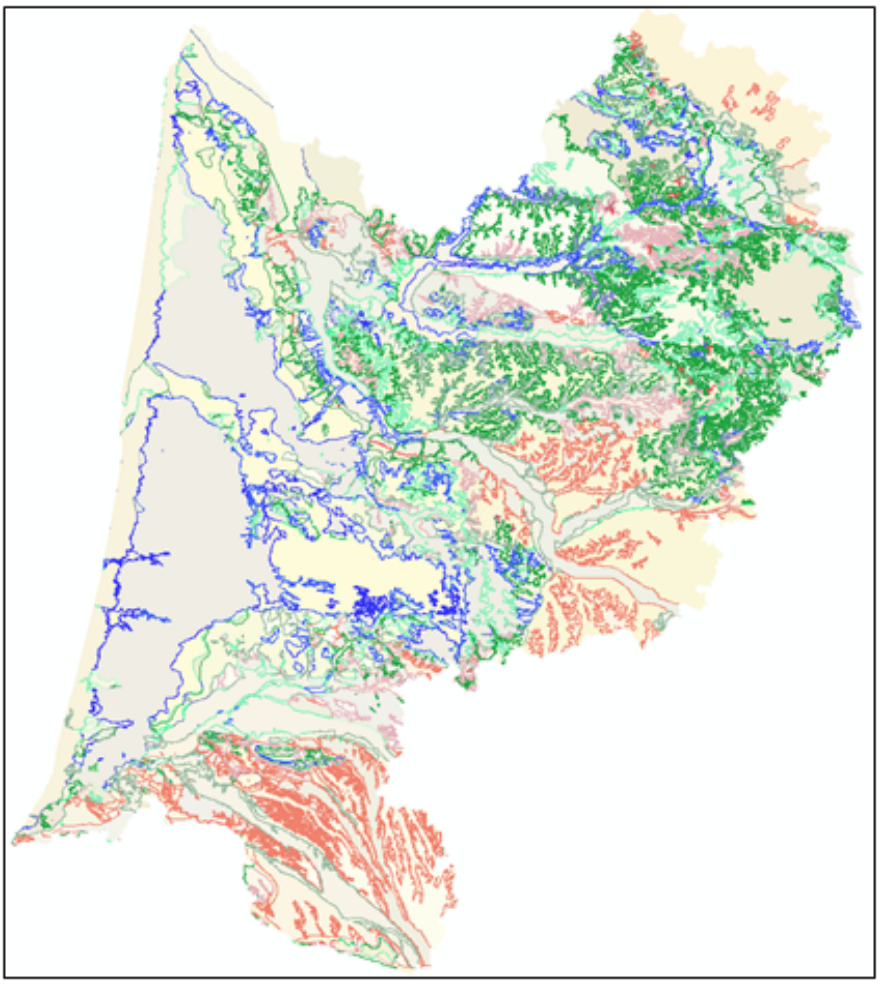


Illustration A20 – Exemple de représentation des limites en fonction de la nature des contacts

(référentiel de l'Aquitaine)

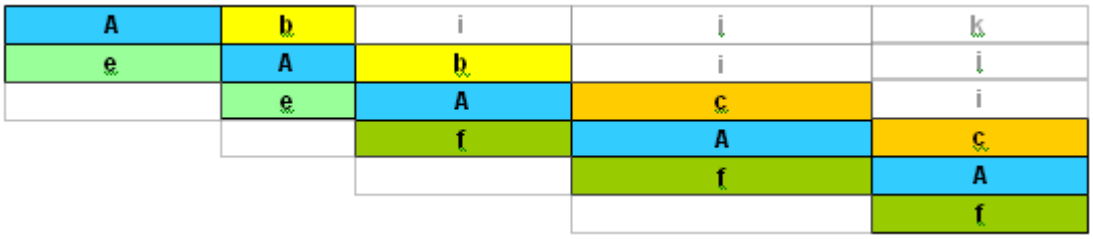
2.2.5. Requêtes sur le modèle et tables associées

Requêtes Toits et murs

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

Dans l'illustration suivante,

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



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

Table (requête) : BDRHF_TABLE_TOIT (BDRHF_TOIT)

BDRHF_Table_Toits : Table

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

Enr : 16 sur 630

Illustration A21 – Table des toits (exemple de la région Aquitaine)

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

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

Table (requête) : BDRHF_TABLE_MUR (BDRHF_MUR)

BDRHF_Table_Murs : Table

RHF_ENTITE	RHF_ABSOLU	Position	MURS	LIBELLE	ORDRE_ABSO	Smurs	Aire	Part_Mur	Surface	RHF_NIVEAU
1	10	Mur	10	Grand système	100	847686972	1974761781.9	0.4292603694	88864280188	1
1	10	Mur	11	Grand domaine	110	40936870	1974761781.9	0.0207300295	63192377022	1
1	10	Mur	12	Grand système	120	75500861	1974761781.9	0.0382328956	37520473857	1
1	10	Mur	21	Grand système	20	114308450	1974761781.9	0.0578846781	51343806331	1
1	10	Mur	3	Grand domaine	30	116647627	1974761781.9	0.0590692144	1.007129E+11	1
1	10	Mur	4	Grand système	40	43530245	1974761781.9	0.0220432892	19747617819	1
1	10	Mur	4	Grand système	41	7878785	1974761781.9	0.0039897395	13823332474	1
1	10	Mur	4	Grand système	42	375791	1974761781.9	0.0001902969	39495235563.9	1
1	10	Mur	5	Grand système	60	104651691	1974761781.9	0.0529945900	78990471278	1
1	10	Mur	5	Grand système	65	33115719	1974761781.9	0.0167694753	19747617819	1
1	10	Mur	51	Grand domaine	50	60766447	1974761781.9	0.0307715328	61217615240	1
1	10	Mur	7	Grand Système	70	290111334	1974761781.9	0.1469095344	98738089097	1
1	10	Mur	9	Grand Système	90	27446597	1974761781.9	0.0138986876	9873808909.7	1
1	10	Mur	9	Grand Système	91	113210525	1974761781.9	0.0573286996	35545712075	1
10	100	Mur	11	Grand domaine	110	16576785913	16584901422	0.9995106689	2.063162E+13	1
10	100	Mur	12	Grand système	120	7656244	16584901422	0.0004616394	66339605687	1

Enr : 1 sur 630

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

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

Illustration A24 – Table des murs (exemple de la région Aquitaine)

2.2.6. Table des ordres

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

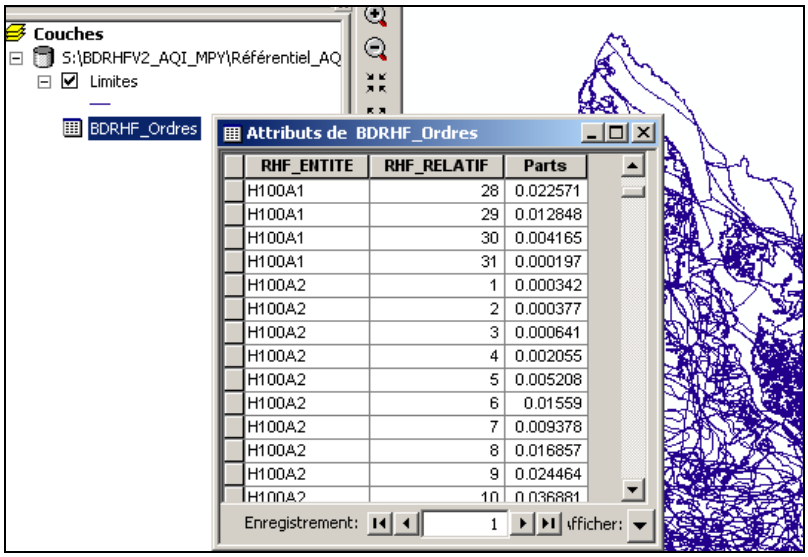


Illustration A25 - Table des ordres

Annexe 4

Tableau multi-échelles du thème sédimentaire

Pour la région Pays-de-la-Loire, ce tableau multi-échelles (harmonisé) rassemble toutes les entités délimitées dans la région, non seulement celles des trois départements traités en année 3 (85, 44 et 53, entités NV3 en caractères gras dans le tableau), mais aussi celles des 2 départements traités en année 2 (49 et 72).

NV1				
CODE	**NOM (provisoire)**	**ORDRE**	**THEME**	**NATURE**
1	Secteurs karstiques connus			
2	Alluvions fluviatiles connectées (basses terrasses)			
3	Alluvions fluviatiles déconnectées (moyennes et hautes terrasses)			
4	altérites superficielles du socle			
5	Pointements de socle au sein des formations sédimentaires proches du Massif Armoricain			
101	GDH du Quaternaire	50	2	2
104	GDH du Mio-Pliocène du BP	100	2	2
113	GSM de l'Oligocène inf.et de l'Eocène du Bassin de Paris	800	2	12
119	GSM du Paléocène du Bassin de Paris	1800	2	12

NV2				
CODE	**NOM (provisoire)**	**ORDRE**	**THEME**	**NATURE**
1	Secteurs karstiques connus			
2	Alluvions fluviatiles connectées (basses terrasses)			
3	Alluvions fluviatiles déconnectées (moyennes et hautes terrasses)			
4	altérites superficielles du socle			
5	Pointements de socle au sein des formations sédimentaires proches du Massif Armoricain			
101A	Domaine des dépôts holocènes de Loire-Atlantique et Vendée	50	2	4
104B	Sables du Pliocène	100		3
104C	Faluns (de Touraine, d'Anjou,…) du Miocène moyen dans le Maine-et-Loire	150	2	4
113G	Calcaires du Rupélien (Oligocène inf.), Grès du Bartonien et Argiles sableuses du Bartonien (Eocène sup.)	800	2	3
113Q	Calcaires sableux du Lutétien en Loire-Atlantique et Vendée	810	2	3
113S	Sables de l'Eocène inf. en Loire-Atlantique et Vendée	820	2	3
119A	Argiles post-Crétacé dans la Sarthe	1800	2	4

121	GSM du Campanien au Turonien (Séno-Turonien) du Bassin de Paris	2050	2	12	121A	Craie et Sables du Séno-Turonien	2050	2	3
					121E	Craies marneuses du Turonien inf.	2060	2	4
122	GSM du Cénomanien à l'Albien sup. du BP	2350	2	12	122A	Argiles sableuses, Sables et Grès, Marnes à Ostracées du Cénomanien sup.	2350	2	4
					122C	Sables du Cénomanien	2360	2	3
125	GDH des Argiles, Marnes et Gaizes du Cénomanien inf. et de l'Albien sup.	2500	2	2	125A	Domaine hydrogéologique des Argiles et Marnes glauconieuses du Cénomanien inférieur	2500	2	4
137	GSA du Kimméridgien inf. et de l'Oxfordien sup.	3200	2	1	137A	Calcaires de l'Oxfordien et du Kimméridgien inférieur du Maine-et-Loire et de la Sarthe	3200	2	3
					137E	Calcaires de l'Oxfordien et du Kimmeridgien inf. du bassin de la Sèvre niortaise	3210	2	3

140	GDH des Marnes du Callovo-Oxfordien du Bassin de Paris	3300	2	2	140A	Marnes, Calcaires et Sables du Callovien moyen à l'Oxfordien moyen	3300	2	4
					140C	Marnes du Callovien inférieur	3320	2	4
					140E	Calcaires marneux du Callovien du bassin aquitain	3350	2	4
143	GSA du Jurassique moyen (Dogger)	3400	2	1	143A	Calcaires du Bajocien-Bathonien	3400	2	3
					143K	Calcaires du Bajocien-Bathonien du Sud-Vendée	3410	2	3
					143C	Calcaires de l'Aalénien-Bajocien	3420	2	3
146	GSM du Jurassique inférieur (Lias)	3900	2	2	146A	Marnes du Toarcien	3900	2	3
					146G	Calcaires et Grès du Pliensbachien-Sinémurien-Hettangien	3910	2	3

NV2				
CODE	**NOM (provisoire)**	**ORDRE**	**THEME**	**NATURE**
1	Secteurs karstiques connus			
2	Alluvions fluviatiles connectées (basses terrasses)			
3	Alluvions fluviatiles déconnectées (moyennes et hautes terrasses)			
4	altérites superficielles du socle			
5	Pointements de socle au sein des formations sédimentaires proches du Massif Armoricain			
101A	Domaine des dépôts holocènes de Loire-Atlantique et Vendée	50	2	4
104B	Sables du Pliocène	100		3
104C	Faluns (de Touraine, d'Anjou,…) du Miocène moyen dans le Maine-et-Loire	150	2	4
113G	Calcaires du Rupélien (Oligocène inf.), Grès du Bartonien et Argiles sableuses du Bartonien (Eocène sup.)	800	2	3
113Q	Calcaires sableux du Lutétien en Loire-Atlantique et Vendée	810	2	3
113S	Sables de l'Eocène inf. en Loire-Atlantique et Vendée	820	2	3
119A	Argiles post-Crétacé dans la Sarthe	1800	2	4

NV3							
CODE	NOM (provisoire)	Localisation	**ORDRE**	**THEME**	**NATURE**	**MILIEU**	**ETAT**
1	Secteurs karstiques connus	44+53+85					
2	Alluvions fluviatiles connectées (basses terrasses)	44*85+53					
3	Alluvions fluviatiles déconnectées (moyennes et hautes terrasses)	44+85+53					
4	Altérites superficielles du socle	BRE					
5	Pointements de socle au sein des formations sédimentaires proches du Massif Armoricain	PAL+POC					
101A01	**Sables dunaires de Loire-Atlantique et Vendée**	44+85	50	2	5	1	1
101A03	**Vases flandriennes de Loire-Atlantique et Vendée**	44+85	55	2	6	1	1
104B03	**Sables du Pliocène de Bretagne et des Pays-de-la-Loire**	PAL+BRE	100	2	5	1	2
104C01	**Faluns du Miocène moyen de Bretagne et des Pays-de-la-Loire**	BRE+49+53	150	2	5	1	2
104C03	Formations du Miocène inférieur (faciès laguno-marin) du Maine-et-Loire	49	155	2	6	1	3
113G01	**Calcaires du Rupélien supérieur**	PAL+BRE	800	2	5	3	3
113G03	**Argiles sableuses du Bartonien-Rupélien**	PAL+BRE	802	2	7	1	3
113G05	**Grès du Bartonien**	53+49+72	804	2	5	1	3
113G07	**Argiles sableuses du Lutétien**	PAL+BRE	806	2	6	1	3
113Q01	**Calcaires sableux du Lutétien supérieur de Loire-Atlantique et Vendée**	44+85	810	2	5	1	3
113S01	**Sables de l'Yprésien de Loire-Atlantique et Vendée**	44+85+BRE	820	2	5	1	3
119C01	Argiles à silex du Paléocène issues de l'altération du Séno-Turonien dans la Sarthe	72	1800	2	7	1	3
119C03	Sables argileux à silex du Paléocène issues de l'altération du Séno-Turonien dans la Sarthe	72	1805	2	6	1	3

121A	Craie et Sables du Séno-Turonien	2050	2	3
121E	Craies marneuses du Turonien inf.	2060	2	4
122A	Argiles sableuses, Sables et Grès, Marnes à Ostracées du Cénomanien sup.	2350	2	4
122C	Sables du Cénomanien	2360	2	3
125A	Domaine hydrogéologique des Argiles et Marnes glauconieuses du Cénomanien inférieur	2500	2	4
137A	Calcaires de l'Oxfordien et du Kimméridgien inférieur du Maine-et-Loire et de la Sarthe	3200	2	3
137E	Calcaires de l'Oxfordien et du Kimmeridgien inf. du bassin de la Sèvre niortaise	3210	2	3

121A01	Sables du Sénonien du Maine-et-Loire et de la Sarthe	49 et 72	2050	2	6	1	3
121A03	**Sables du Sénonien de Vendée**	85	2050	2	6	1	3
121A05	Craie de Villedieu du Sénonien	72	2054	2	5	4	3
121A07	Sables glauconieux et faluns de Contivoir du Turonien sup.	49	2056	2	5	1	3
121A09	Craie Tuffeau d'Anjou et de Touraine du Cénomanien sup. sommital auTuronien inf. et moyen	49+72	2058	2	5	4	3
121E01	Craies marneuses à Inocerames du Cénomanien sup. au Turonien inf.	49+72	2060	2	6	4	3
122A01	**Argiles sableuses du Cénomanien-Turonien de Loire-Atlantique et Vendée**	44+85	2350	2	6	1	3
122A03	Sables de Bousse et Sables et Grès à Catopygus du Cénomanien sup.	49+72	2352	2	5	1	3
122A05	Marnes à Ostracées du Cénomanien sup.	49+72	2354	2	7	1	3
122C01	Sables glauconieux du Perche du Cénomanien sup.	72	2360	2	5	1	3
122C03	Craie de Theligny du Cénomanien moyen	72	2362	2	5	4	3
122C05	Marnes de Nogent-le-Bernard du Cénomanien moyen	72	2364	2	6	1	3
122C07	**Sables du Cénomanien inf. et moyen**	49+53+72	2366	2	5	1	3
122C09	Sables de Lamnay et de la Trugalle du Cénomanien inf.	72	2368	2	5	1	3
125A01	Craie glauconieuse du Cénomanien inf.	72	2500	2	5	1	3
125A03	Marnes et Argiles glauconieuses à minerai de fer de l'Albien au Cénomanien inf.	72	2505	2	7	1	3
137A01	Calcaires à Astartes du Perche de l'Oxfordien sup.	72	3200	2	5	4	3
137A03	Calcaires coralliens de l'Oxfordien moyen	72	3202	2	5	4	3
137A05	Marnes bleues à Encrines de l'Oxfordien moyen à l'Oxfordien sup. du Sud-Vendée	72 & 49	3204	2	6	1	3
137A07	Sables du Vairais et de Mortagne de l'Oxfordien inf.	72	3206	2	5	1	3
137E01	**Calcaires de l'Oxfordien du bassin de la Sèvre niortaise**	85	3210	2	6	1	3

140A	Marnes, Calcaires et Sables du Callovien moyen à l'Oxfordien moyen	3300	2	4
140C	Marnes du Callovien inférieur	3320	2	4
140E	Calcaires marneux du Callovien du bassin aquitain	3350	2	4
143A	Calcaires du Bajocien-Bathonien	3400	2	3
143K	Calcaires du Bajocien-Bathonien du Sud-Vendée	3410	2	3
143C	Calcaires de l'Aalénien-Bajocien	3420	2	3
146A	Marnes du Toarcien	3900	2	3
146G	Calcaires et Grès du Pliensbachien-Sinémurien-Hettangien	3910	2	3

140A01	Marnes à Spongiaires (Callovien à Oxfordien moyen)	49	3300	2	7	1	3
140A03	Marnes à Pernes et des marnes sableuses de la Vacherie et de la Buraisiaire (Callovien supérieur - Oxfordien inférieur)	72	3302	2	6	1	3
140A07	Sables de Saint-Fulgent-des-Ormes du Callovien sup.	72	3306	2	5	1	3
140A09	Marnes de Montmarlo et de Montbizot du Callovien sup.	72	3308	2	7	1	3
140A11	Calcaires sableux de Teillé du Callovien moyen	72	3310	2	5	1	3
140C01	Marnes de Maresché et de Saint-Calez-en-Saosnois du Callovien moyen	72	3320	2	7	1	3
140C03	Marnes d'Assé le Riboul et des oolithes du Callovien inf. et moyen	72	3322	2	6	1	3
140C05	Unité semi-perméable des marnes de Domfront en Champagne, du Chevain et des oolites de Suré du Callovien inf.	72	3324	2	6	1	3
140C07	Calcaires marneux à brachiopodes du Callovien inf.	72	3326	2	6	1	3
140E01	**Calcaires marneux du Callovien se poursuivant dans le bassin aquitain**	85	3304	2	6	1	3
143A01	Marnes de Bourg le Roi du Bathonien sup.	72	3400	2	6	1	3
143A03	Calcaires noduleux à silex du Bajocien-Bathonien	49	3402	2	5	2	3
143A05	Oolithes ferrugineuses et du calcaire à Montlivaultia du Bathonien supérieur	72	3404	2	5	3	3
143A07	Calcaires et Oolithes du Saosnois du Bajocien supérieur au Bathonien supérieur	72	3406	2	5	3	3
143K01	**Marnes et calcaires du Bajocien-Bathonien du Sud-Vendée**	85	3410	2	5	1	3
143C01	Calcaires graveleux de la champagne, de Conlie de l'Aalénien moyen au Bathonien	49 & 72	3420	2	5	3	3
143C03	Arkoses d'Alençon et des graviers, Sables et Grès de Tessé de l'Aalénien	72	3422	2	5	1	3
146A01	**Calcaires marneux de l'Aalénien-Toarcien**	49+72+85	3900	2	7	1	3
146G01	Sables et Calcaires du Toarcien et du Plensbachien sup. (Domérien)	72	3910	2	5	1	3
146G03	**Grès du Pliensbachien**	49+72+85	3912	2	6	1	3
146G05	**Calcaires dolomitiques de l'Hettangien sup. et du Sinémurien**	85	3914	2	5	1	3
146G07	**Argiles vertes et rouges de l'Hettangien inférieur**	85	3916	2	7	1	3
146G09	**Sables et Grès de l'Hettangien basal (Infra-Lias)**	85	3918	2	5	1	3

Annexe 5 – Tableau multi-échelles du thème socle

NV1								NV2								NV3						
Ordre	Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Etat	Milieu	Présence Inter-Régionale	Ordre	Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Nature	Etat	Milieu	Présence Inter-Régionale	Ordre	Code	Libellé Provisoire Entité	Thème	Etat	Milieu	Présence Inter-Régionale
5000	**251**	La Sée et la Sélune de leurs sources à leurs embouchures	3	1	2	2	BNO-BRE-PDL	5000	251A	La Sée de sa source à l'embouchure	3	3	2	2	en BNO	5000	251A01	La Sée de sa source à l'embouchure	3	2	2	en BNO
								5000	251B	La Sélune de sa source à l'embouchure, l'Airon	3	3	2	2	BNO-BRE-PDL	5000	251B01	La Sélune de sa source à l'embouchure, l'Airon	3	2	2	BNO-BRE-PDL
5000	**252**	Côtiers du Couesnon (c) à la Rance (c)	3	1	2	2	BNO-BRE-PDL	5000	252A	Le Couesnon de sa source à la mer	3	3	2	2	BNO-BRE-PDL	5000	252A01	Le Couesnon de sa source à la mer	3	2	2	BNO-BRE-PDL
								5000	252B	Le Guyoult de sa source à la mer, le Biez Jean & le Biez Brillant	3	3	2	2	en BRE	5000	252B01	Le Guyoult de sa source à la mer, le Biez Jean & le Biez Brillant	3	2	2	en BRE
								5000	252C	La Rance et le Linon de leurs sources à la mer	3	3	2	2	en BRE	5000	252C01	La Rance de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
																5000	252C02	Le Linon de sa source à la Rance (nc)	3	2	2	en BRE
5000	**253**	La Vilaine de sa source à la mer & côtiers de la Vilaine à la Loire (nc)	3	1	2	2	BRE-PDL	5000	253A	La Vilaine de sa source à la mer & côtiers de la Vilaine à la Loire (nc)	3	3	2	2	BRE-PDL	5000	253A01	La Vilaine, la Seiche et le Don de leurs sources à la mer	3	2	2	BRE-PDL
																5000	253A02	L'Ille & ses affluents	3	2	2	en BRE
																5000	253A03	Le Meu & ses affluents	3	2	2	en BRE
																5000	253A04	Le Semnon & ses affluents	3	2	2	BRE-PDL
																5000	253A05	La Chère & ses affluents	3	2	2	BRE-PDL
																5000	253A06	L'Isac de sa source à la Vilaine (nc)	3	2	2	BRE-PDL
																5000	253A07	Côtiers de la Vilaine (nc) à la Loire (nc)	3	2	2	BRE-PDL
5000	**254**	La Loire de la Vienne (nc) à la mer (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	1	2	2	BRE-PDL-POC	5000	254A	La Loire de la Vienne (nc) à la mer (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	3	2	2	en PDL	5000	254A01	La Loire de la Vienne (nc) à la mer (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	en PDL
								5000	254B	Le Thouet et le Layon de leurs sources à la Loire (nc), l'Argenton, l'Evre, le Cébron, le Thouaret, l'Hyrôme, l'Aubance (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	3	2	2	PDL-POC	5000	254B01	Le Thouet de sa source à la Loire (nc), le Cébron, le Thouaret (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	PDL-POC
																5000	254B02	L'Argenton & ses affluents	3	2	2	PDL-POC
																5000	254B03	Le Layon de sa source à la Loire (nc), l'Hyrôme (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	PDL-POC
																5000	254B04	L'Aubance & ses affluents (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	en PDL
																5000	254B05	L'Evre & ses affluents	3	2	2	en PDL
								5000	254C	L'Authion du Changeon (c) à la Loire (nc) (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	3	2	2	en PDL	5000	254C01	L'Authion du Changeon (c) à la Loire (nc) (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	en PDL
								5000	254D	L'Erdre & ses affluents	3	3	2	2	en PDL	5000	254D01	L'Erdre & ses affluents	3	2	2	en PDL
								5000	254E	La Boulogne de sa source au Lac de Grand-Lieu (c), l'Acheneau de sa source à la Loire (nc), L'Ognon	3	3	2	2	en PDL	5000	254E01	La Boulogne de sa source au Lac de Grand-Lieu (c), l'Acheneau de sa source à la Loire (nc), l'Ognon	3	2	2	en PDL
								5000	254F	Le Brivet & ses affluents	3	3	2	2	BRE-PDL	5000	254F01	Le Brivet & ses affluents	3	2	2	BRE-PDL
5000	**255**	La Sarthe de sa source à la Maine & la Maine jusqu'à la Loire (nc) & la Mayenne de la Vieille Maine (c) à la Maine (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	1	2	2	BNO-PDL	5000	255A	La Sarthe de sa source à la Maine (nc), la Bienne, la Vègre, l'Erve, la Maine de la Mayenne (nc) à la Loire (nc) (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	3	2	2	BNO-PDL	5000	255A01	La Sarthe de sa source à la Maine (nc), la Bienne, la Vègre, l'Erve (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	BNO-PDL
																5000	255A02	La Maine de la Mayenne (nc) à la Loire (nc)	3	2	2	en PDL
								5000	255B	La Vaudelle et l'Orthe & leurs affluents	3	3	2	2	en PDL	5000	255B01	La Vaudelle et l'Orthe & leurs affluents	3	2	2	en PDL
								5000	255C	La Vaige & ses affluents	3	3	2	2	en PDL	5000	255C01	La Vaige & ses affluents	3	2	2	en PDL
5000	**256**	Le Loir & ses affluents (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	1	2	2	en PDL	5000	256A	Le Loir de sa source à la Sarthe (nc) (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	3	2	2	en PDL	5000	256A01	Le Loir de sa source à la Sarthe (nc) (bassin versant en aval du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	en PDL
5000	**257**	La Mayenne de sa source à la Vieille Maine (nc)	3	1	2	2	BNO-BRE-PDL	5000	257A	La Mayenne de sa source à la Vieille Maine (nc), l'Ernée, l'Aron	3	3	2	2	BNO-PDL	5000	257A01	La Mayenne de sa source à la Vieille Maine (nc), l'Ernée, l'Aron	3	2	2	BNO-PDL
								5000	257B	La Varenne & ses affluents, la Colmont	3	3	2	2	BNO-PDL	5000	257B01	La Varenne & ses affluents	3	2	2	BNO-PDL
																5000	257B02	La Colmont & ses affluents	3	2	2	BNO-PDL
								5000	257C	La Jouanne & ses affluents	3	3	2	2	en PDL	5000	257C01	La Jouanne & ses affluents	3	2	2	en PDL
								5000	257D	L'Oudon de sa source à la Mayenne (nc), le Vicoin, la Verzée, l'Argos	3	3	2	2	BRE-PDL	5000	257D01	Le Vicoin & ses affluents	3	2	2	en PDL
																5000	257D02	L'Oudon de sa source à la Mayenne (nc), la Verzée, l'Argos	3	2	2	BRE-PDL
								5000	257E	L'Aisne & ses affluents	3	3	2	2	en PDL	5000	257E01	L'Aisne & ses affluents	3	2	2	en PDL

5000	**258**	La Sèvre Nantaise & ses affluents	3	1	2	2	PDL-POC	5000	258A	La Sèvre Nantaise de sa source à la Loire (nc), la Grande Maine, la Petite Maine, la Sanguèze	3	3	2	2	PDL-POC	5000	258A01	La Sèvre Nantaise de sa source à la Loire (nc), la Sanguèze	3	2	2	PDL-POC
																5000	258A02	La Grande Maine, La Petite Maine & leurs affluents	3	2	2	en PDL
								5000	258B	Le Moine & ses affluents	3	3	2	2	PDL-POC	5000	258B01	Le Moine & ses affluents	3	2	2	PDL-POC
5000	**259**	Côtiers de la Loire (nc) à la rivière du Goulet (c), la Vie & ses affluents, îles d'Yeu et de Noirmoutier	3	1	2	2	en PDL	5000	259A	Côtiers de la Loire (nc) à la rivière du Goulet (c), la Vie & ses affluents, îles d'Yeu et de Noirmoutier	3	3	2	2	en PDL	5000	259A01	Le Boivre et le Canal de Haute Perche & leurs affluents	3	2	2	en PDL
																5000	259A02	Côtiers (dont le Falleron) et marais du Canal de Haute Perche (nc) au Bignon (c)	3	2	2	en PDL
																5000	259A03	Côtiers et marais du Grand Etier de Sallertaine (c) à la Vie (nc), îles d'Yeu et de Noirmoutier	3	2	2	en PDL
																5000	259A04	La Vie de sa source à la mer (dont le Jaunay)	3	2	2	en PDL
																5000	259A05	Côtiers de la Vie (nc) aux Sables d'Olonne (dont l'Auzance, la Ciboule et la Vertonne)	3	2	2	en PDL
																5000	259A06	Côtiers des Sables d'Olonne à la rivière du Goulet (c)	3	2	2	en PDL
5000	**260**	Le Lay & ses affluents (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	1	2	2	en PDL	5000	260A	Le Grand Lay puis le Lay de sa source à la mer, le Petit Lay et ses affluents, la Smagne de sa source au Lay (nc), l'Yon de sa source au Lay (nc) (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	3	2	2	en PDL	5000	260A01	Le Grand Lay puis le Lay de sa source à la mer (dont la Smagne et l'Yon) (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	en PDL
																5000	260A02	Le Petit Lay et ses affluents	3	2	2	en PDL
5000	**261**	La Sèvre Niortaise, la Vendée, l'Autise (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	1	2	2	PDL-POC	5000	261A	La Sèvre Niortaise de sa source à la mer, la Courance le Mignon & côtiers (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	3	2	2	en POC	5000	261A01	La Sèvre Niortaise de sa source à la mer (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	en POC
								5000	261B	L'Autise de sa source à la Jeune Autize (nc), la Vendée de sa source à la Sèvre Niortaise (nc) (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	3	2	2	PDL-POC	5000	261B01	L'Autise de sa source à la Jeune Autize (nc) (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	PDL-POC
																5000	261B02	La Vendée de sa source à la Sèvre Niortaise (nc) (bassin versant en amont du contact socle-sédimentaire)	3	2	2	PDL-POC
5000	**262**	Côtiers de la Rance (nc) au Trieux (c)	3	1	2	2	en BRE	5000	262A	Le Frémur, l'Arguenon, le Gouessant de leurs sources à la mer, la Rosette & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	262A01	Le Frémur & le Floubalay de leurs sources à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	262A02	L'Arguenon et la Rosette de leurs sources à la mer	3	2	2	en BRE
																5000	262A03	Le Frémur de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	262A04	Le Gouessant de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
								5000	262B	L'Urne de sa source à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	262B01	L'Urne de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
								5000	262C	Le Gouët de sa source à la mer	3	3	2	2	en BRE	5000	262C01	Le Gouët de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
								5000	262D	Le Trieux, le Bouillenou, le Leff de leurs sources à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	262D01	Côtiers du Gouët (nc) au Trieux (nc)	3	2	2	en BRE
																5000	262D02	Le Trieux & le Bouillenou de leurs sources à la mer	3	2	2	en BRE
																5000	262D03	Le Leff & ses affluents	3	2	2	en BRE
5000	**263**	Côtiers du Trieux (nc) à la Pointe de Bloscon	3	1	2	2	en BRE	5000	263A	Le Jaudy de sa source à la mer & côtiers du Jaudy au Léguer (nc)	3	3	2	2	en BRE	5000	263A01	Le Jaudy de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	263A02	Côtiers du Jaudy (nc) au Léguer (nc)	3	2	2	en BRE
								5000	263B	Le Léguer, le Yar de leurs sources à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	263B01	Le Léguer de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	263B02	Le Yar de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
								5000	263C	Le Jarlot, le Douron de leurs sources à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	263C01	Le Douron de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
																5000	263C02	Le Jarlot de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
								5000	263D	Le Dourduff de sa source à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	263D01	Le Dourduff de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
								5000	263E	La Penzé de sa source à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	263E01	La Penzé de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
5000	**264**	Côtiers de la Pointe de Bloscon à la Pointe du Raz, îles Ouessant et Batz	3	1	2	2	en BRE	5000	264A	L'Horn, le Guillec, le Quillimadec, la Flèche, l'Aber Wrac'h, l'Aber Benoit, l'Elorn de leurs sources à la mer & côtiers, île de Batz	3	3	2	2	en BRE	5000	264A01	L'Horn et le Guillec de leurs sources à la mer, île de Batz	3	2	2	en BRE
																5000	264A02	Le Quillimadec et la Flèche de leurs sources à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	264A03	Côtiers de l'Aber Wrac'h (c) à l'Aber Benoit (c)	3	2	2	en BRE
																5000	264A04	L'Elorn de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
								5000	264B	L'Aber Ildut et la Penfeld de leurs sources à la mer & côtiers, île d'Ouessant	3	3	2	2	en BRE	5000	264B01	L'Aber Ildut et la Penfeld de leurs sources à la mer & côtiers, île d'Ouessant	3	2	2	en BRE
								5000	264C	La Mignonne et l'Hôpital Camfrout de leurs sources à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	264C01	La Mignonne et l'Hôpital Camfrout de leurs sources à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
								5000	264D	L'Aulne, l'Hyères de leurs sources à la mer	3	3	2	2	en BRE	5000	264D01	L'Aulne de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
																5000	264D02	L'Hyères de sa source à l'Aulne (nc)	3	2	2	en BRE
								5000	264E	Côtiers de l'Aulne (nc) à la Pointe du Raz	3	3	2	2	en BRE	5000	264E01	Côtiers de l'Aulne (nc) à la Pointe du Raz	3	2	2	en BRE

5000	**265**	Côtiers de la Pointe du Raz au Blavet (nc), île Groix	3	1	2	2	en BRE	5000	265A	Le Goyen, la rivière de Pont-l'Abbé, l'Odet, le Steir de leurs sources à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	265A01	Le Goyen de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	265A02	La rivière de Pont-l'Abbé & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	265A03	L'Odet de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
																5000	265A04	Le Steir & ses affluents	3	2	2	en BRE
																5000	265A05	Côtiers de l'Odet (nc) à l'Aven (nc)	3	2	2	en BRE
								5000	265B	Côtiers de l'Aven (c) à la Laïta (nc)	3	3	2	2	en BRE	5000	265B01	Côtiers de l'Aven (c) à la Laïta (nc)	3	2	2	en BRE
								5000	265C	L'Ellé, l'Isole, l'Inam de leurs sources à la mer & côtiers, île de Groix	3	3	2	2	en BRE	5000	265C01	L'Ellé & côtiers, l'Inam, île de Groix	3	2	2	en BRE
																5000	265C02	L'Isole & ses affluents	3	2	2	en BRE
5000	**266**	Le Blavet de sa source à la mer	3	1	2	2	en BRE	5000	266A	Le Scorff, le Blavet de leurs sources à la mer, le Canal de Nantes à Brest jusqu'au Blavet	3	3	2	2	en BRE	5000	266A01	Le Scorff de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
																5000	266A02	Le Blavet de sa source à la mer	3	2	2	en BRE
																5000	266A03	Le Canal de Nantes à Brest jusqu'au Blavet (nc)	3	2	2	en BRE
								5000	266B	L'Evel de sa source au Blavet (nc)	3	3	2	2	en BRE	5000	266B01	L'Evel de sa source au Blavet (nc)	3	2	2	en BRE
5000	**267**	Côtiers du Blavet (nc) à la Vilaine (nc), Belle-Ile	3	1	2	2	en BRE	5000	267A	Ria d'Etel, rivière de Crac'h, le Loc'h, le Vincin, la Marle, le Liziec de leurs sources à la mer & côtiers, Belle-Ile	3	3	2	2	en BRE	5000	267A01	Ria d'Etel de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	267A02	Rivière de Crac'h de sa source à la mer, Belle-Ile	3	2	2	en BRE
																5000	267A03	Le Loc'h de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
																5000	267A04	Le Vincin, la Marle et le Liziec de leurs sources à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
								5000	267B	L'Etier de Billiers de sa source à la mer & côtiers	3	3	2	2	en BRE	5000	267B01	L'Etier de Billiers de sa source à la mer & côtiers	3	2	2	en BRE
5000	**268**	L'Oust & ses affluents	3	1	2	2	en BRE	5000	268A	L'Oust, le Ninian, l'Yvel, l'Aff de leurs sources à la Vilaine (nc)	3	3	2	2	en BRE	5000	268A01	L'Oust de sa source à la Vilaine (nc)	3	2	2	en BRE
																5000	268A02	Le Ninian et l'Yvel de leurs sources à l'Oust (nc)	3	2	2	en BRE
																5000	268A03	L'Aff de sa source à l'Oust (nc)	3	2	2	en BRE
								5000	268B	Le Lié & ses affluents	3	3	2	2	en BRE	5000	268B01	Le Lié & ses affluents	3	2	2	en BRE
								5000	268C	La Claie, l'Arz de leurs sources à l'Oust (nc)	3	3	2	2	en BRE	5000	268C01	La Claie de sa source à l'Oust (nc)	3	2	2	en BRE
																5000	268C02	L'Arz de sa source à l'Oust (nc)	3	2	2	en BRE
5000	**269**	Le Clain de sa source à la confluence avec la Vienne (bassin en aval du contact socle Massif Armoricain-sedimentaire)	3	1	2	2	en POC	5000	269A	Le Clain de sa source à la confluence avec la Vienne (bassin en aval du contact socle Massif Armoricain-sedimentaire)	3	3	2	2	en POC	5000	269A01	Le Clain de sa source à la Vienne (bassin versant en amont du contact socle massif Armoricain-sedimentaire)	3	2	2	en POC

Service géologique régional Bretagne
Rennes Atalante Beaulieu
2, rue de Jouanet
35700 – Rennes – France
Tél. : 02 99 84 26 70

Service géologique régional Pays de la Loire
1 rue des Saumonières
BP 92342
44323 – Nantes Cedex 3 – France
Tél. : 02 51 86 01 51

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