

Document public

Référentiel hydrogéologique
BD RHF®
Guide méthodologique
de découpage des entités
Rapport final

BRGM/RP-52261-FR
janvier 2003



Référentiel hydrogéologique
BD RHF®
Guide méthodologique
de découpage des entités
Rapport final

BRGM/RP-52261-FR
janvier 2003

Petit V., Hanot F., Pointet T.

Mots clés : Référentiel, Entité hydrogéologique, BD RHF®, Cartographie Hydrogéologique, Délimitation.

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

Petit V., Hanot F., Pointet T. (2003) - Référentiel hydrogéologique BD RHF®. Guide méthodologique de découpage des entités. BRGM/RP-52261-FR, 101 p., 17 fig., 3 ann.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans en citer la source.

Synthèse

Le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable a engagé une démarche partenariale avec le BRGM, l'Oieau, les agences de l'Eau, les DIREN et d'autres acteurs de l'eau afin de créer un référentiel cartographique national des eaux souterraines. Le but est de disposer d'un découpage du territoire national français en entités hydrogéologiques réalisé selon des règles communes, qui permettent de gérer et échanger des informations, agglomérer et bancariser des données dans le domaine des eaux souterraines. Ce référentiel appelé BD RHF® est un outil essentiellement cartographique, descriptif et de structuration de l'information.

Le BRGM a été chargé d'organiser et de synthétiser un mode de découpage homogène des entités hydrogéologiques à l'échelle du territoire. Ce travail a été mené sous la direction d'un comité de pilotage, dont le secrétariat est assuré par la direction de l'Eau et avec la participation du SANDRE.

Ce rapport présentent les règles de découpage des entités hydrogéologiques. Ces règles sont définies à l'intérieur de cinq thèmes qualifiant l'ensemble de la France : l'alluvial, le sédimentaire, le volcanisme, le socle et l'intensément plissé. Le domaine karstique est également traité mais comme un attribut des systèmes carbonatés. Des types de limite hydraulique pour définir les contours ont été définies. La BD RHF® représente une évolution notable par rapport aux référentiels précédents en particulier par sa capacité à représenter les structures multicouches.

Six tests préalables de découpage sur des transects choisis sur le territoire de chacune des agences de l'Eau ont permis de valider ces règles.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Généralités	11
2.1. Principes de bases	11
2.2. Définition des thèmes	12
2.3. Les niveaux d'identification	12
2.4. Le concept d'entité hydrogéologique	14
2.5. Natures des entités hydrogéologiques	14
2.6. Codification	17
2.7. Démarche générale de découpage	17
2.7.1. Cadrage hydrogéologique	18
2.7.2. Individualisation de l'alluvial	18
2.7.3. Découpage du substrat sédimentaire	18
2.7.4. Découpage du socle	19
2.7.5. Découpage du volcanisme	19
2.7.6. Découpage de l'intensément plissé	19
2.7.7. Identification et éventuellement découpage du karst	19
3. Formations alluviales	21
3.1. Critères d'appartenance	21
3.2. Définitions, principes généraux de découpage des formations alluviales	21
3.3. Règles de découpage	22
3.3.1. Identifier les contours	22
3.3.2. Partitionner	23
3.3.3. Différentiation des zones aquifères et peu aquifères au niveau local NV3	24
4. Formations sédimentaires	25
4.1. Critères d'appartenance	25

4.2. Définitions, principes généraux de découpage des formations sédimentaires (non alluviales).....	25
4.3. Règles de découpage.....	26
4.4. Informations associées	29
5. Formations de socle.....	31
5.1. Critères d'appartenance	31
5.2. Définitions, principes généraux de découpage des formations de socle	31
5.3. Règles de découpage.....	32
5.3.1. Niveau national NV1.....	32
5.3.2. Niveau régional NV2.....	32
5.3.3. Niveau local NV3.....	34
6. Volcanisme.....	35
6.1. Critères d'appartenance	35
6.2. Définitions, principes généraux de découpage des formations « volcaniques » ..	35
6.3. Règles de découpage.....	35
6.3.1. Niveau national.....	35
6.3.2. Niveau régional.....	36
6.3.3. Niveau local.....	36
7. Formations intensément plissées.....	37
7.1. Critères d'appartenance	37
7.2. Définitions, principes généraux de découpage des formations « intensément plissées ».....	37
7.2.1. Niveau national (NV1)	37
7.2.2. Niveau régional (NV2).....	38
7.2.3. Niveau local (NV3).....	38
7.3. Règles de découpage.....	39
7.3.1. Phase d'identification.....	39
7.3.2. Phase de découpage.....	41

8. Formations karstiques	43
8.1. Critères d'appartenance	43
8.2. Définitions, principes généraux de découpage des formations karstiques	43
8.3. Règles de découpage.....	43
8.3.1. Niveau national NV1.....	43
8.3.2. Niveau régional NV2.....	44
8.3.3. Niveau local NV3	44
9. Caractérisation des contours	45
9.1. Relations latérales entre entités pour les surfaces affleurantes	45
9.2. Caractérisation hydraulique des contours	45
9.2.1. Principes de base	45
9.2.2. Cas particuliers.....	46
9.2.3. Liste des limites hydrauliques.....	46

Liste des figures

Fig. 1 -	Les cinq thèmes.	13
Fig. 2 -	Liaisons entre les entités.	16
Fig. 3 -	Alluvial : étape 1 du découpage.	22
Fig. 4 -	Alluvial : étape 2 du découpage.	23
Fig. 5 -	Alluvial : étape 3 du découpage.	24
Fig. 6 -	Exemple de découpage dans le sédimentaire du Bassin parisien	27
Fig. 7 -	Les limites des grands bassins versants sur le Massif pyrénéen.	38
Fig. 8 -	Exemple d'un découpage dans la région karstique du Quercy.	44
Fig. 9 -	Légende des illustrations des limites.	46
Fig. 10 -	Ligne de partage des eaux souterraines.	47
Fig. 11 -	Limite étanche.	47
Fig. 12 -	Ligne d'affluence d'un aquifère captif à un aquifère libre.	47
Fig. 13 -	Ligne d'affluence des eaux de formations perméables/semi-perméables à un aquifère libre emboîté ou à un autre aquifère en contact par faille.	48
Fig. 14 -	Ligne de sources de déversement.	48
Fig. 15 -	Ligne de débordement continue ou discontinue.	49
Fig. 16 -	Cours d'eau perché.	49
Fig. 17 -	Limites avec les cours d'eau.	50

Liste des annexes

Ann. 1 -	Élaboration de la méthodologie de découpage des entités hydrogéologiques.	51
Ann. 2 -	Liste des auteurs et membres du comité de pilotage, des groupes de travail et de réalisation des tests.	59
Ann. 3 -	Synthèse des tests de découpage par bassin.	63

1. Introduction

Un premier découpage de la France en systèmes aquifères et domaines hydrogéologiques a été proposé par J. Margat en 1980. Le document final, une carte détaillée, a été produit à l'échelle 1/1 000 000.

Ce document a servi de première ébauche au référentiel BD RHF. Cette ébauche fut complétée sur certaines zones (Est, Sud-Est, Aquitaine...) par un découpage au 1/50 000 (parfois au 1/100 000) selon des critères différents d'une zone à l'autre. La version V1 obtenue est donc hétérogène tant sur le plan de la taille des entités (traitement à différentes échelles) qu'au niveau des critères de découpage. Elle est strictement 2D, constituée de polygones jointifs et n'illustrent que la partie affleurante des aquifères.

À la demande de la direction de l'eau au Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) et dans le cadre des travaux du Réseau National des Données sur l'eau (RNDE), le BRGM fut chargé d'organiser et de synthétiser un mode de découpage homogène des entités hydrogéologiques à l'échelle du territoire : le référentiel hydrogéologique BD RHF® V2. Ce travail a été mené sous la direction d'un comité de pilotage, dont le secrétariat est assuré par la direction de l'Eau et avec la participation du SANDRE.

Ce référentiel a pour but d'identifier de cartographier, et de qualifier avec les moyens informatiques de type SIG, selon trois niveaux de détail progressifs, les entités hydrogéologiques du territoire français. Il constitue une évolution du référentiel BD RHF V1, notamment par sa capacité à représenter les structures multicouches. Sa réalisation comprend une approche méthodologique constituée de trois phases successives : une phase de positionnement thématique, une phase expérimentale permettant de valider sur zones test les principes édictés en phase 1 et une phase de production.

Le présent document présente les résultats acquis en phase 1 et en phase 2, à l'exclusion de la méthode de représentation cartographique qui, traitée par l'Oieau, sera évaluée indépendamment. La phase 3 (production) est prévue pour être réalisée en 2003/2004, sur la base de ce guide méthodologique.

Cette opération de Service public correspond à la fiche 3 de la convention 2002 passée avec la direction de l'Eau du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable : base de données sur le référentiel hydrogéologique français BD RHF® - version 2. Finalisation de la méthodologie de découpage.

2. Généralités

L'objet de ce guide est de mettre à disposition une méthode d'identification et de représentation graphique des entités hydrogéologiques en France.

Le guide méthodologie présente la méthode de découpage selon le plan suivant :

- en premier lieu, description des principaux concepts et définitions utilisés dans la méthodologie. Sur cet aspect, il est conseillé de se reporter au rapport « Description des données sur le référentiel hydrogéologique version 2 » du SANDRE, où la définition de ces notions fait référence ;
- ensuite, description de la démarche générale avec les différentes étapes chronologiques du découpage ;
- et enfin, le détail des règles de découpage à appliquer selon les thèmes.

2.1. PRINCIPES DE BASES

Les principes de base suivants ont été adoptés dans la construction du référentiel BD RHF :

- des règles de découpage sont définies par cinq thèmes principaux ;
- le découpage est homogène sur l'ensemble du territoire ;
- plusieurs échelles de visualisation sont prévues : nationale (1/1 000 000), régionale (1/250 000) et locale (1/50 000) ;
- les entités sous couverture sont également délimitées ;
- une nouvelle codification est mise en place ; la norme de la codification a été conçue pour rester stable et être utilisée d'une manière durable ;
- la découpage des entités est réalisé sur la base des connaissances actuelles ; le découpage est donc susceptible d'évolution ;
- l'échelle de travail est le 1/50 000 ;
- la BD RHF® est une base de données essentiellement cartographique. Elle est développée dans le cadre du système d'information sur l'eau et sera constituée des éléments suivants :
 - fiches descriptives des entités,
 - couches cartographiques des entités,
 - images des coupes, logs, piézométrie... ;
- les entités hydrogéologiques sont représentées par un ou plusieurs polygones des parties affleurantes et des parties sous couverture. Les polygones sont composés d'arcs ayant une signification : limite d'extension de l'entité, mais aussi informations sur la caractérisation hydraulique valable sur cet arc).

2.2. DÉFINITION DES THÈMES

Le territoire national a été subdivisé selon des critères géologiques et classé dans cinq thèmes listés et définis dans le tableau suivant. Leur répartition en France est indiquée figure 1.

THÈME	CRITÈRES D'APPARTENANCE
Alluvial	Ensemble des dépôts de plaine alluviale ainsi que les terrasses connectées hydrauliquement avec les cours d'eau.
Sédimentaire	Ensembles des formations peu ou pas déformées, non métamorphisées des bassins sédimentaires.
Socle	Formations magmatiques et métamorphiques.
Volcanisme	Volcanisme tertiaire et quaternaire qui a conservé une géométrie, une morphologie et/ou une structure volcanique identifiable
Intensément plissé	Ensembles de formations géologiques récemment plissées appartenant aux massifs montagneux alpins, pyrénéens, languedociens et jurassiens.

Le karst est un attribut qui peut s'appliquer aux formations carbonatées des thèmes « sédimentaire » et « intensément plissé ».

2.3. LES NIVEAUX D'IDENTIFICATION

Trois niveaux d'identification des objets ou entités hydrogéologiques, avec des objectifs différents, ont été retenus pour la BD RHF®. Ils correspondent à des échelles de visualisation cartographiques différentes :

- **Le niveau national NV1**

Ce niveau doit permettre une représentation nationale, essentiellement descriptive, des grands ensembles hydrogéologiques (système et domaine) au regard de l'importance des critères physiques – superficie, perméabilité... – et/ou en tant que ressource quantitative appréciable pour le niveau national.

La gamme d'échelle d'utilisation varie du 1/500 000 au 1/1 000 000.

- **Le niveau régional**

Ce niveau doit permettre une représentation régionale/bassin des entités hydrogéologiques (système et domaine) à une échelle moyenne du 1/250 000 selon les deux critères suivants :

- importance régionale de l'entité hydrogéologique au regard de son milieu ;
- enjeux quantitatifs et qualitatifs de l'entité.

L'échelle d'utilisation varie du 1/500 000 au 1/150 000.

- **Le niveau local**

Ce niveau est la représentation la plus fine du référentiel (1/50 000). Elle 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.

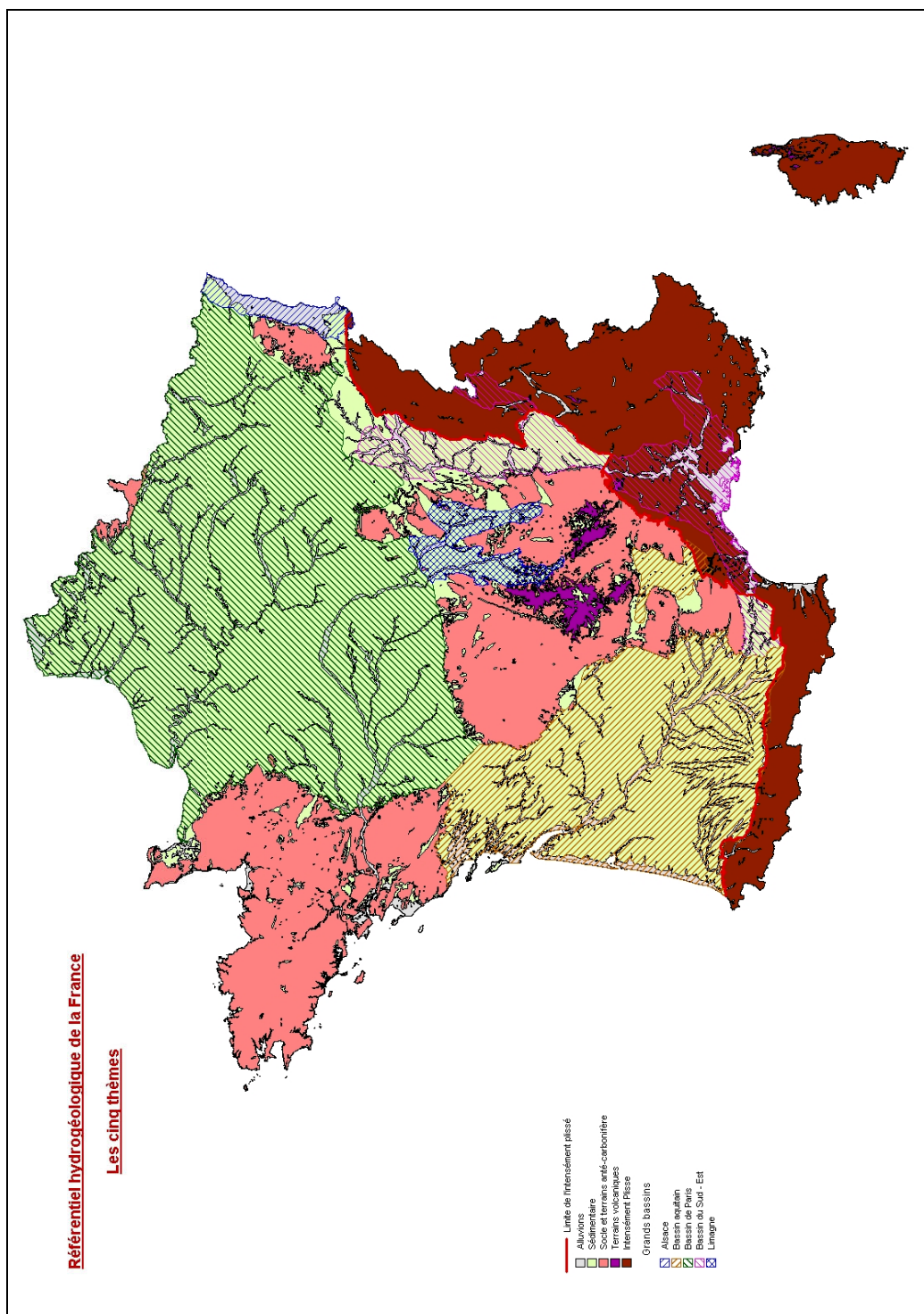


Fig. 1 - Les cinq thèmes.

L'objectif est d'apporter une réponse à la connaissance du milieu souterrain pour les structures locales (département, SAGE...).

L'échelle d'utilisation varie du 1/50 000 au 1/150 000.

2.4. LE CONCEPT D'ENTITÉ HYDROGÉOLOGIQUE

L'entité hydrogéologique est une partie de l'espace géologique, aquifère ou non aquifère, correspondant à un système physique caractérisé au regard de son état et de son comportement hydrogéologique.

Les entités hydrogéologiques ont été distinguées :

- sur trois niveaux ;
- sur leur potentialité aquifère.

Elles sont au nombre de sept : grand système aquifère, grand domaine hydrogéologique, système aquifère, domaine hydrogéologique, unité aquifère, unité semi-perméable, unité imperméable.

Niveau NV1 ou niveau national Exemple d'entité	Niveau NV2 ou niveau régional Exemple d'entité	Niveau NV3 ou niveau local Exemple d'entité
Grand système aquifère Crétacé supérieur	Système aquifère Cénomanién	Unité d'aquifère Sables verts
		Unité semi-perméable Grès de la « Crèche »
		Unité imperméable Argiles du Gault
Grand domaine hydrogéologique Callovo-Oxfordien	Domaine hydrogéologique Turonien moyen et inférieur	

La constitution des entités hydrogéologiques est issue de la connaissance à instant donné du milieu souterrain.

L'ensemble du territoire est partitionné en entités hydrogéologiques assurant une continuité horizontale et verticale des entités aux niveaux national et régional.

Une entité peut être décrite par plusieurs polygones. La précision du contour définit à la fois la précision géométrique du contour et le niveau de connaissance. Trois valeurs sont possibles : connu, supposé ou arbitraire.

2.5. NATURES DES ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

• Le grand système aquifère

Le grand système aquifère est un système physique composé d'une ou plusieurs unités aquifères, globalement en liaison hydraulique et qui est circonscrit par des

limites lithostratigraphiques et/ou structurales. Le grand système hydrogéologique est une entité de niveau national NV1.

- **Le grand domaine hydrogéologique**

Le grand domaine hydrogéologique est un système physique peu ou pas aquifère. Il peut contenir des unités aquifères mais sans grande extension latérale et isolées dans le massif imperméable. Le grand domaine hydrogéologique est une entité de niveau national NV1.

- **Le domaine hydrogéologique**

Un domaine hydrogéologique est une entité hydrogéologique peu aquifère issue d'une subdivision verticale ou horizontale d'un grand domaine hydrogéologique ou d'un grand système. La subdivision s'effectue sur, au moins l'un des critères suivants : lithologie, structure, stratigraphie, piézométrie, géochimie, hydraulique.

Le domaine hydrogéologique est une entité de niveau régional NV2.

- **Le système aquifère**

Un système aquifère est une entité hydrogéologique aquifère issue d'une subdivision verticale ou horizontale d'un grand système aquifère ou d'un grand domaine hydrogéologique. La subdivision s'effectue sur, au moins l'un des critères suivants : lithologie, structure, stratigraphie, piézométrie, géochimie, hydraulique.

La constitution des systèmes est issue de la connaissance à instant donné du milieu souterrain. Le système aquifère est une entité de niveau régional NV2.

- **L'unité aquifère**

L'unité aquifère est un système physique élémentaire présentant des conditions hydrodynamiques homogènes, suffisamment conductrice pour permettre la circulation de l'eau souterraine. Une unité aquifère est une entité hydrogéologique de niveau local présentant une perméabilité moyenne réputée supérieure à 10^{-6} m/s présentant des ressources en eau suffisante pour être exploitée.

L'unité aquifère est une entité du niveau local NV3 et elle correspond à la description la plus fine des entités hydrogéologiques pour le référentiel national. Ce concept résulte du découpage des grands domaines hydrogéologiques et des grands systèmes aquifères (éventuellement directement des grands domaines et des grands systèmes aquifères).

- **L'unité semi-perméable**

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

L'unité semi-perméable est une entité du niveau local NV3 et elle correspond à la description la plus fine des entités hydrogéologiques pour le référentiel national. Ce concept résulte du découpage des domaines hydrogéologiques et des systèmes

aquifères (éventuellement directement des grands domaines et des grands systèmes aquifères).

- **L'unité imperméable**

L'unité imperméable est un système physique élémentaire présentant des faibles circulations d'eau. Sa perméabilité moyenne est réputée inférieure à 10^{-9} m/s.

La définition du dictionnaire hydrogéologique français est la suivante : qualifie un milieu théoriquement impénétrable et non traversable par un fluide et en pratique ne laissant passer aucun flux significatif sous un gradient de potentiel hydraulique donné.

L'unité imperméable est une entité du niveau local NV3 et elle correspond à la description la plus fine des entités hydrogéologiques pour le référentiel national. Ce concept résulte du découpage des domaines hydrogéologique et des systèmes aquifères (éventuellement directement des grands domaines et des grands systèmes aquifères).

- **Liaison entre les entités**

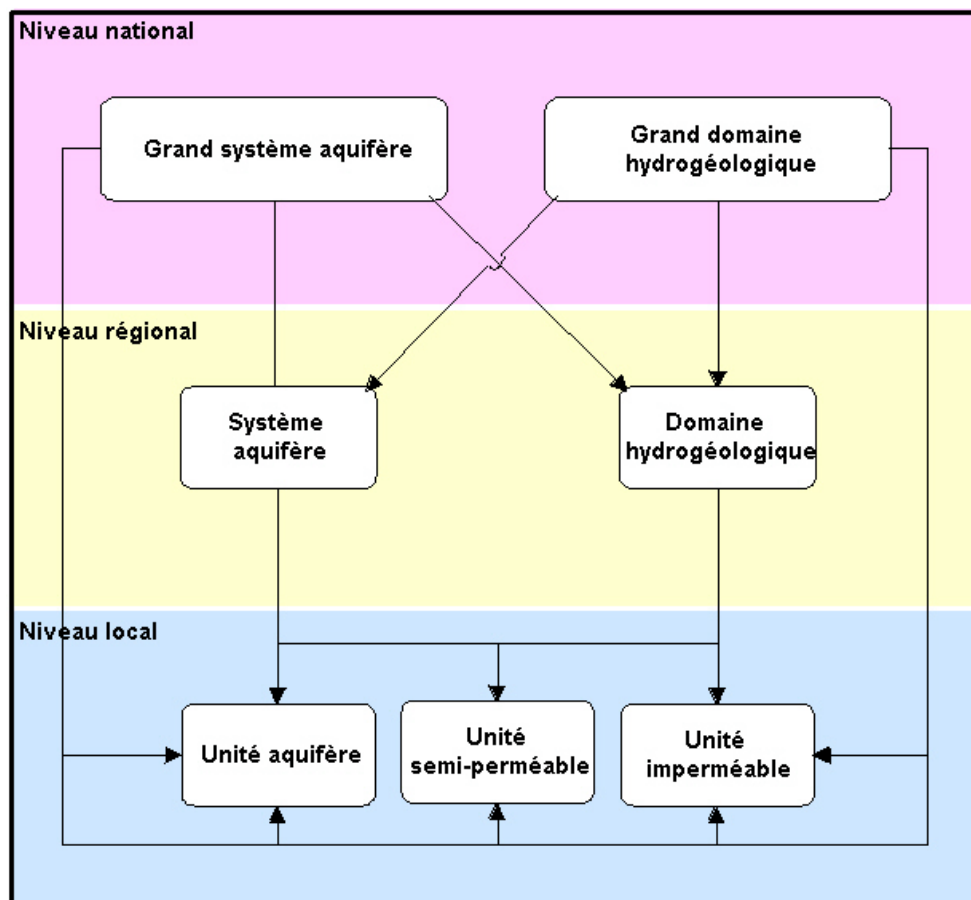


Fig. 2 - Liaisons entre les entités.

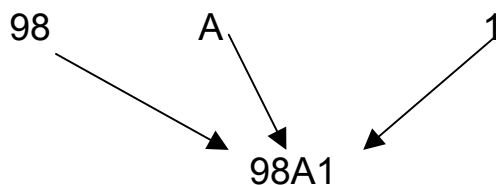
Comme le montre le schéma, les liens de filiation en fonction des ordres d'agrégation obéissent aux règles suivantes :

- une entité hydrogéologie appartient à une seule nature par niveau ;
- une entité hydrogéologique a toujours une mère hormis pour le niveau national ;
- une entité hydrogéologique peut avoir 0 à n filles hormis pour les unités du niveau local.

Les unités du niveau local correspondent à la description la plus fine des entités hydrogéologiques pour le référentiel national. Ce concept résulte du découpage des domaines hydrogéologiques et des systèmes aquifères (éventuellement directement des grands domaines et des grands systèmes aquifères).

2.6. CODIFICATION

Le code de l'entité hydrogéologique est un identifiant construit selon la règle suivante :
[code numérique entité NV1]+[lettre entité NV2]+[code numérique entité NV3]



Exemples : 98, 98A, 98A1, 18C3, 55-1 (entité de niveau NV3 incluse dans l'entité de niveau NV1, quand le découpage de niveau NV2 n'existe pas).

Le code est attribué par le SANDRE.

2.7. DÉMARCHE GÉNÉRALE DE DÉCOUPAGE

La démarche de découpage s'applique par secteur et grands ensembles hydrogéologiques. Le niveau structurant est en règle générale le niveau régional (parfois national). La démarche est descendante ; le niveau local sera réalisé en dernier.

La découpage des entités doit s'effectuer selon les étapes suivantes dont l'ordre de réalisation doit être respectée :

- le cadrage hydrogéologique régional ;
- l'individualisation de l'alluvial : les premiers découpages d'entités concerne l'alluvial.

Le découpage des autres formations géologiques interviendra dans l'ordre suivant :

- le substrat « sédimentaire » ;
- le substrat « socle » ;
- le substrat « volcanisme » ;

- le substrat « intensément plissé ».

Le découpage précédent sera complété ainsi :

- l'attribut karstique sera appliqué sur les secteurs ;
- la nature des conditions hydrauliques des contours à l'affleurement sera définie.

2.7.1. Cadrage hydrogéologique

Il consiste principalement :

- à procéder à un découpage grossier suivant les grands thèmes de la phase 1 représentés sur la carte géologique simplifiée de la figure 1 ;
- à identifier et nommer les grandes entités hydrogéologiques de niveau national (NV1).

Les documents utilisés sont la carte géologique au 1/250 000 quand elle existe ou la carte géologique au 1/1 000 000 ou des documents de synthèse hydrogéologique. Les cadrages hydrogéologiques sont décrits dans les annexes par territoire d'agence de l'Eau. Ils pourront être éventuellement complétés en tant que de besoin.

L'inventaire de la documentation existante est à réaliser. Les documents pour la découpage des entités sont (liste non exhaustive) :

- la version V1 du référentiel,
- la carte géologique au 1/50 000,
- les synthèses hydrogéologiques,
- les atlas hydrogéologiques,
- les études et modélisations hydrogéologiques,
- la carte des bassins versants.

2.7.2. Individualisation de l'alluvial

Le découpage des entités alluviales est réalisé à l'échelle du 1/50 000. Les documents utilisés sont les cartes géologiques vectorisées (ou scannées) ainsi qu'un plan de position des forages afin de différencier les alluvions aquifères des alluvions non aquifères. Ces documents doivent être complétés par :

- les notices de carte géologique,
- les rapports de feuilles (inventaires des ressources hydrauliques).

2.7.3. Découpage du substrat sédimentaire

a) Découpage « vertical »

- L'établissement d'un tableau multi-échelle des entités hydrogéologiques présentes sur le bassin. Le but est de hiérarchiser ce qui sera présenté aux différentes échelles :

- le niveau national NV1 a été défini comme indiqué lors du cadrage hydrogéologique ;
 - le niveau local NV3 peut correspondre à l'unité la plus fine de la carte géologique à 1/50 000 ;
 - unité perméable : $> 10^{-6}$ m/s,
 - unité semi-perméable : de 10^{-6} m/s à 10^{-9} m/s,
 - unité imperméable : $< 10^{-9}$ m/s ;
 - le régional NV2 correspond à une subdivision du NV1 et une agglomération du NV3 basées sur les usages à l'échelle régionale.
- Le tracé des contours des parties affleurantes.
 - Nature hydraulique des limites en surface selon les catégories définies (voir le chapitre sur les limites).
 - Le tracé des contours sous couverture sur la base des connaissances géologiques et hydrogéologiques. Les critères sont détaillés dans les chapitres suivants.
 - Découpage « horizontal » des parties à l'affleurement et sous couverture (changement notable de faciès par exemple).
 - Superposition des interfluves et des bassins versants.

2.7.4. Découpage du socle

Sur le socle, l'alluvial est traité indépendamment au même titre que le sédimentaire. Par contre, les formations superficielles sont conservées puisqu'elles représentent une réserve d'eau. Le découpage s'opère par bassin versant à partir des données de BD carthage.

2.7.5. Découpage du volcanisme

2.7.6. Découpage de l'intensément plissé

a) Identification des entités hydrogéologiques successivement aux niveaux NV1, NV2 puis NV3

b) Découpage des entités dans le même ordre des niveaux

2.7.7. Identification et éventuellement découpage du karst

Le karst intervient comme un attribut des thèmes sédimentaire et intensément plissé. Il est délimité en fonction du niveau et du thème concerné. Au niveau NV1 et NV2, une entité pourra être créée sur la base du caractère karstique.

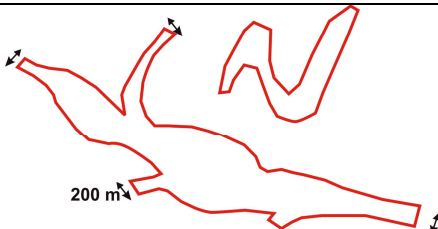
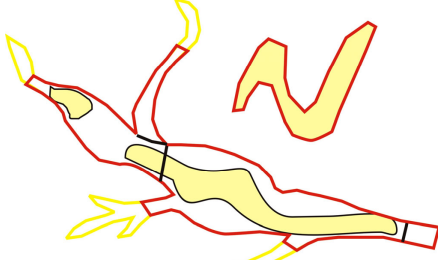
3. Formations alluviales

3.1. CRITÈRES D'APPARTENANCE

Les formations alluviales englobent l'ensemble des dépôts de plaine alluviale ainsi que les terrasses connectées hydrauliquement avec les cours d'eau.

3.2. DÉFINITIONS, PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DÉCOUPAGE DES FORMATIONS ALLUVIALES

La représentation des entités aux différentes échelles sont les suivantes :

NIVEAU	Formations représentées	
national NV1	Les alluvions des grands cours d'eau dont la largeur dépasse 200 m ou dont la perméabilité est forte, y compris les formations alluviales non-aquifères. Les alluvions d'extension importantes dont la continuité avec les alluvions principales n'existe pas.	
régional NV2	L'ensemble d'alluvions attenantes aux cours d'eau principaux et à leurs affluents (aquifères et non-aquifères). Partitionnement du NV1.	
local NV3	La distinction entre alluvions aquifères et non-aquifères est visualisée.	

Remarques :

- la distinction entre alluvions aquifères et non-aquifères intervient seulement au niveau local NV3 ;
- les formations alluviales sont considérées comme des systèmes aquifères ;
- les polygones des entités alluviales peuvent être :
 - disjoints : la continuité des alluvions n'est pas obligatoire,
 - jointifs (au niveau des subdivisions),

- inclus les uns dans les autres (uniquement pour une entité locale incluse dans une entité régionale) ;
- les cônes de déjection en région montagneuse seront distingués en deux cas :
 - les cônes torrentiels seront considérés comme des systèmes distincts (position suspendue) ou rattachés aux alluvions (position imbriqués),
 - les cônes de type coulées boueuses seront classés en unités imperméables.

3.3. RÈGLES DE DÉCOUPAGE

Le découpage se déroule en trois temps :

- numériser les contours des alluvions (fig. 3),
- partitionner les segments inférieurs à 200 m de largeur (fig. 4),
- différencier les alluvions aquifères et non-aquifères (fig. 5).

Les niveaux NV1, NV2 et NV3 sont abordés successivement et dans cet ordre à travers cette séquence. Ils ne seront pas traités dans un ordre différent à quelques exceptions près : chevelu d'alluvion dense, contenant des alluvions peu perméables.

3.3.1. Identifier les contours

Identifier les contours des alluvions aquifères et non-aquifères attenantes, cours d'eau principaux et affluents, à partir des cartes géologiques 1/50 000. Les terrasses anciennes, peu aquifères et non connectées aux cours d'eau ne sont pas prises en compte et ne seront pas intégrées aux entités alluviales. Par contre, des zones alluvionnaires d'affluents peuvent ne plus être en continuité avec les alluvions du cours d'eau principal car elles ont été décapées : dans ce cas particulier, elles seront identifiées si elles sont aquifères et en relation avec le cours d'eau. Cette façon de procéder permet de récupérer plus efficacement les polygones des contours des alluvions disponibles sur les cartes géologiques.

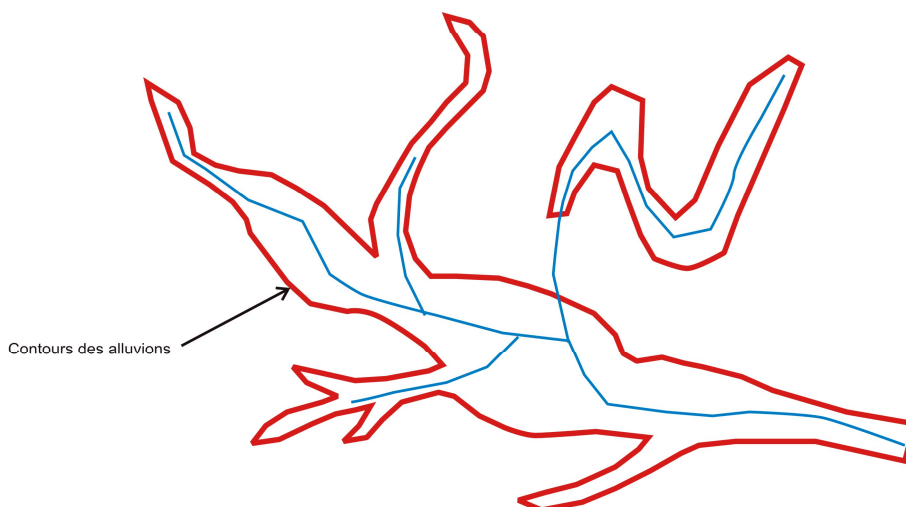


Fig. 3 - Alluvial : étape 1 du découpage.

3.3.2. Partitionner

- Éliminer de l'ensemble précédemment numérisé les tronçons de zone alluviale dont la largeur est de l'ordre de 200 m, sauf s'il sont connus pour être très aquifères.
- On obtient à ce stade les contours des entités au niveau national NV1.
- Coder l'entité (codage provisoire) et renseigner la fiche « entité ».
- Reprendre les contours de la phase a). Ces contours vont être les enveloppes des entités des niveaux NV2 et NV3 (*i.e.* toutes les entités alluviales, y compris celles de niveau local NV3, seront contenues dans ce nouvel ensemble).
- Subdiviser les polygones ainsi obtenus, si nécessaire, selon les conditions locales pour faire apparaître les entités du niveau NV2 (régional). Les subdivisions sont à examiner selon trois types de critères dont l'analyse permettra d'en définir l'importance relative :
 - un critère géographique :
 - séparer les alluvions des cours d'eau principaux et ceux de leurs affluents,
 - séparer au droit des confluences des principaux affluents,
 - un critère géologique :
 - séparer selon les variations de faciès géologique des alluvions,
 - un critère hydraulique :
 - distinguer les entités séparées par une crête piézométrique d'importance majeure,
 - distinguer selon la relation nappe-rivière, à savoir si la zone est alimentée par la rivière ou non,
 - séparer si possible selon le caractère libre ou captif des alluvions, quand cette information est connue,
 - séparer au niveau des cours d'eau si ceux-ci correspondent à une limite hydraulique. Ce cas constituera alors une exception à la règle générale (séparation au niveau de crête piézométrique).

Coder l'entité (codage provisoire) et renseigner la fiche « entité ».

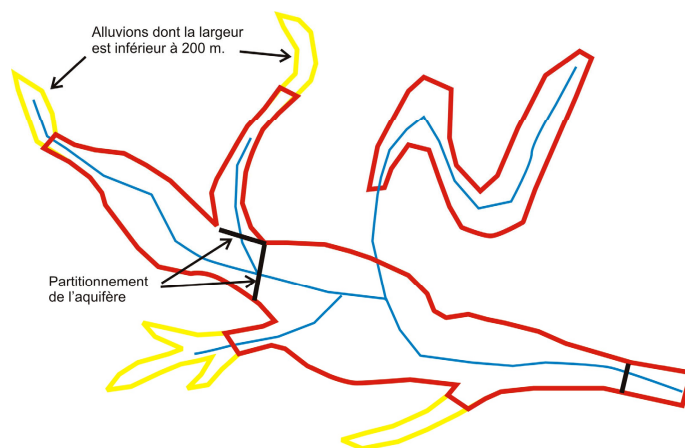


Fig. 4 - Alluvial : étape 2 du découpage.

3.3.3. Différentiation des zones aquifères et peu aquifères au niveau local NV3

Les secteurs sont différenciés en fonction de leur qualité aquifère. On procèdera par soustraction des secteurs peu aquifères définis par :

- les alluvions sur lesquelles il n'y a pas de points d'eau (forage, source...) en faisant l'hypothèse que s'il n'y a pas de points d'eau, les alluvions ne sont pas aquifères, sauf si le caractère aquifère est connu ;
- les alluvions, connues pour ne pas être aquifères, d'après la connaissance hydrogéologique du secteur ;
- la valeur de la perméabilité intrinsèque selon les classes suivantes :
 - unité perméable : $K > 10^{-6}$ m/s,
 - unité semi-perméable : 10^{-9} m/s $> K > 10^{-6}$ m/s,
 - unité imperméable : $K < 10^{-9}$ m/s.

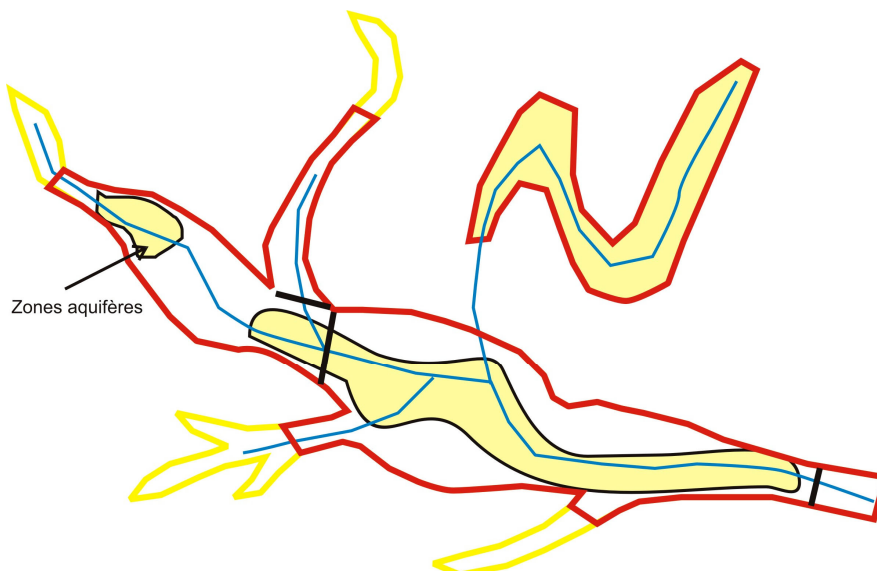


Fig. 5 - Alluvial : étape 3 du découpage.

4. Formations sédimentaires

4.1. CRITÈRES D'APPARTENANCE

Ensembles des formations peu ou pas déformées, non métamorphisées des bassins sédimentaires. Les formations carbonatées présentes dans les terrains primaires seront traitées dans le thème sédimentaire.

4.2. DÉFINITIONS, PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DÉCOUPAGE DES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES (NON ALLUVIALES)

- Au niveau national :
 - les grands systèmes aquifères sont définis comme systèmes physiques composés de plusieurs nappes en liaison hydraulique continue et circonscrit par des limites litho-stratigraphiques ;
 - les grands domaines géologiques sont définis comme systèmes physiques constitués par une ou plusieurs couches peu ou pas aquifère.
- Au niveau régional :
 - les systèmes aquifères ou des domaines géologiques sont subdivisés verticalement et horizontalement à partir des critères suivants : lithologie, structurale, stratigraphie, piézométrie, affleurant ou sous couverture, géochimie.
- Dans le thème sédimentaire, une entité regroupera en règle générale la partie affleurante et la partie sous couverture qui seront représentées chacune par un ou plusieurs polygones. 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.
- Des valeurs de perméabilité intrinsèque ont été fixées pour qualifier les caractéristiques aquifères des formations :
 - unité perméable : $K > 10^{-6}$ m/s,
 - unité semi-perméable : 10^{-9} m/s $> K > 10^{-6}$ m/s,
 - unité imperméable : $K < 10^{-9}$ m/s.
- Les limites de systèmes seront les crêtes piézométriques et non les rivières, en opposition avec les règles appliquées à BD RHF V1.
- Les limites BD RHF V1 entre partie libre et partie captive d'un aquifère n'ont plus lieu d'être. En revanche, on retiendra les limites d'affleurement.

- Les buttes témoins seront cartographiées au niveau NV3 et rattachées aux unités en respectant leur appartenance litho-stratigraphique. Une butte témoin ne pourra être subdivisée.
- Les formations superficielles, désignant les formations quaternaires continentales telles que les limons, les moraines, les éboulis, mais à l'exclusion des alluvions, seront traitées dans le thème sédimentaire. Leur mode de dépôt est en effet identique à celui des formations sédimentaires.
- Les placages fluvio-glaciaires sur le socle dans les paléo-vallées seront considérés comme une unité aquifère au niveau local (NV3) et seront classés dans le thème sédimentaire et non pas dans le thème alluvions car ils ne sont pas en connexion avec un cours d'eau.

4.3. RÈGLES DE DÉCOUPAGE

Les règles qui suivent supposent que l'on traite un grand bassin à la fois.

a) Identifier globalement les entités à l'échelle nationale et à l'échelle régionale

- Établir, en le référençant pour le bassin, le tableau multi-échelles des entités hydrogéologiques à l'échelle nationale (grands systèmes et grands domaines). Ce niveau a été défini dans le cadrage hydrogéologique national.

Le but de ce tableau est de hiérarchiser les découpages stratigraphiques et hydrogéologiques qui seront le support des approches aux trois échelles. Il récapitule et superpose verticalement tous les types d'entités susceptibles d'être rencontrées sur le bassin. C'est l'équivalent hydrogéologique d'un log géologique synthétique régional. Il permet de disposer d'une légende commune pour classer les entités dans des « catégories hydrogéologiques » que sont les regroupements de couches géologiques formant une seule entité. Toute entité délimitée devra se retrouver dans le tableau. Une fois constitué, le tableau est triple à raison d'un log « hydrostratigraphique » par échelle (NV1, NV2 ou NV3).

L'étendue sur laquelle s'applique le tableau tri-échelles doit être la plus grande possible au sein du bassin, tout en restant le plus homogène possible sur le plan hydrogéologique. Il est donc nécessaire de prendre en compte les variations latérales de faciès et de préparer un découpage par pays géologique qui sera une aire où les objets hydrogéologiques sont homogènes et où le tableau est représentatif. Les tests réalisés font apparaître différents pays géologiques à l'intérieur d'un même bassin hydrologique : Seine, Artois-Picardie et Meuse sont des pays géologiques du Bassin parisien. Une fusion des pays semblables, mais situés sur deux bassins hydrologiques, sera opéré *in fine* à l'échelle du grand bassin.

- Procéder à un repérage grossier suivant les critères litho-stratigraphiques (carte géologique simplifiée).

- Localiser globalement les grandes entités affleurantes et les nommer par grands bassins (Bassin parisien, Bassin aquitain...) en prévision du découpage au niveau national NV1 (fig. 6).

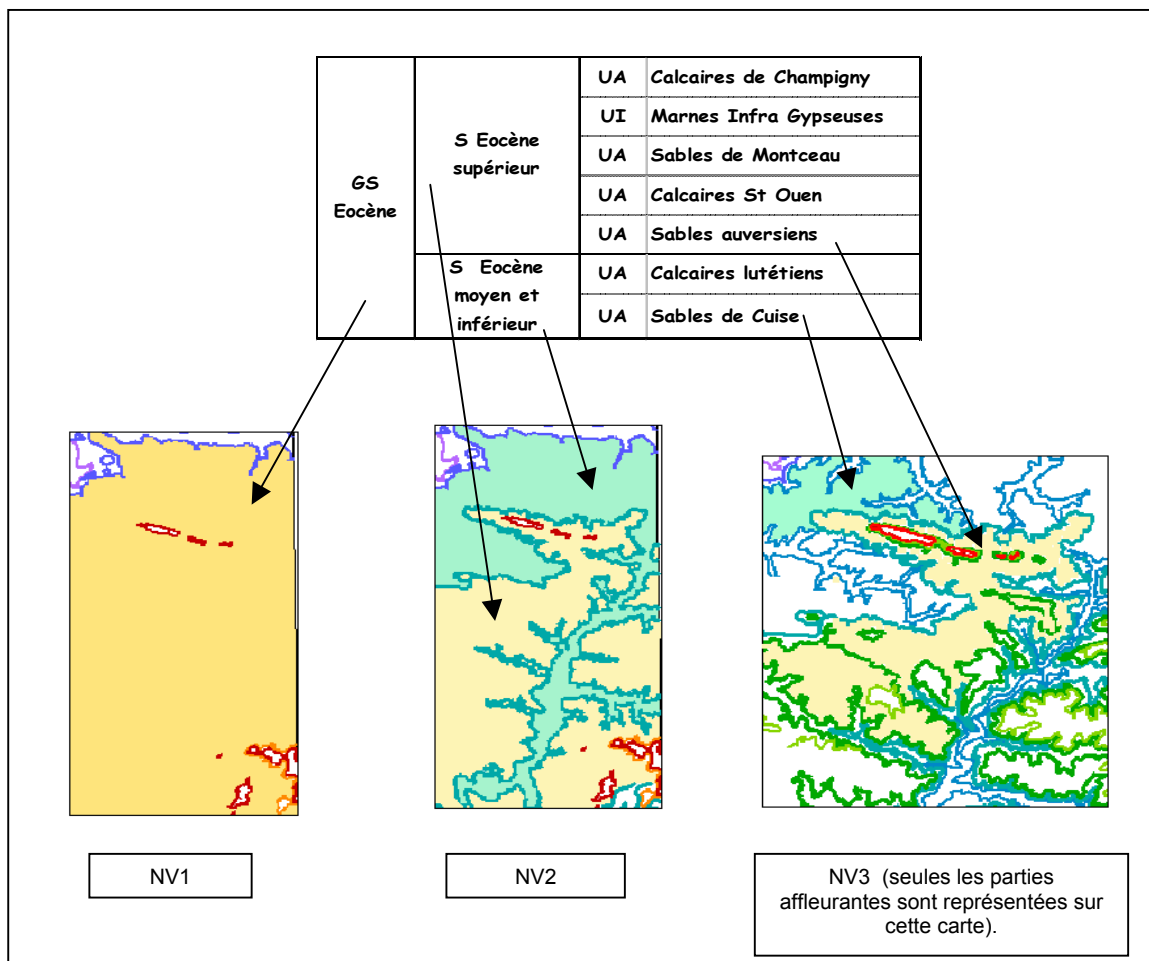


Fig. 6 - Exemple de découpage dans le sédimentaire du Bassin parisien.

- Ce travail s'effectue sur une carte géologique à petite échelle (le millionième, ou le millionième agrandi à 1/500 000, ou le 1/250 000 s'il est disponible). Le tracé des contours n'a pas besoin d'être précis pour cette étape de dégrossissage.
- Renseigner le tableau pour l'échelle locale NV3.
- Le niveau local NV3 peut correspondre à la formation significative au plan hydrogéologique (unité) la plus fine de la carte géologique (toutefois il n'est pas exclu que l'inventaire ne puisse être exhaustif).
- Définir les types d'entité du niveau régional NV2 à la fois par subdivision du niveau NV1 et agglomération du NV3, en se fondant sur les conventions usuelles à l'échelle régionale.

- Cas particulier des buttes témoins et des formations superficielles :
 - dans les bassins sédimentaires, des ensembles aquifères peuvent se trouver isolés au sein de buttes témoins par l'érosion. Ces ensembles correspondent en général aux prolongements des grands systèmes affleurants. Chaque ensemble fonctionne de manière autonome et serait à considérer comme système aquifère selon la définition précédente. Toutefois, pour des raisons de commodité devant la multiplication de ces buttes et des micro-systèmes, ils seront regroupés dans une même entité afin d'en simplifier la gestion et la représentation. Chaque butte témoin sera délimitée par un polygone. Un ensemble de buttes témoins homogène comprendra plusieurs polygones avec un seul code. Pour rappel, ces polygones ne seront affichés qu'au niveau local ;
 - la même règle sera appliquée pour les formations superficielles lorsqu'elles sont morcelées.

b) Mettre en œuvre le découpage cartographique

- Inventorier les contours identiques à ceux identifiés par les critères de la BD RHF, déjà numérisés et disponibles. Ces contours seront éventuellement repris tels quels, si la précision de la numérisation est compatible avec la précision requise.
- Récupérer les contours de la partie affleurante (non existants) des grands systèmes et des grands domaines (niveau national NV1) de la carte géologique vectorisée.
- Récupérer les contours de la partie affleurante des entités de niveau régional (NV2) par application de la grille « hydrostratigraphique » issue du tableau précédemment réalisé, niveau NV2.
- Découper horizontalement au niveau régional NV2, selon :
 - les grands bassins versants,
 - les crêtes piézométriques,
 - la limite entre « affleurant » et « sous couverture »,
 - les variations latérales de faciès.
- Identifier les limites de la partie des entités situées sous couverture selon la connaissance géologique et hydrogéologique. La précision sera plus faible que celle des contours de surface et sera réalisée généralement à une échelle inférieure au 1/50 000 .
- Caractériser la nature hydraulique des contours de surface et leur affecter un type (voir codification des limites, § 9.).
- Retenir l'existence des deux options supplémentaires suivantes concernant les limites.
- Il existe un type « limite inconnue » pour les contours où la connaissance est insuffisante.

- Dans la nomenclature, une limite de type administratif a été rajoutée pour représenter les frontières avec les pays limitrophes.

4.4. INFORMATIONS ASSOCIÉES

- Rattacher à l'entité les informations suivantes qui seront présentées sous la forme de scans : carte des isohypses du mur et du toit, carte piézométrique.
- Coder l'entité (codage provisoire) et renseigner la fiche « entité ».

5. Formations de socle

5.1. CRITÈRES D'APPARTENANCE

Les formations de socle englobent les formations magmatiques et métamorphiques. La ressource en eau est contenue principalement dans la couche d'altérites qui recouvrent la roche saine. L'eau circule à la faveur de la fracturation des roches : fractures horizontales liées à l'altération et fractures verticales d'origine tectonique.

5.2. DÉFINITIONS, PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DÉCOUPAGE DES FORMATIONS DE SOCLE

Définition des termes utilisés pour identifier les entités du socle :

- **VCN10** : moyenne des débits les plus bas de l'année sur une période de dix jours consécutifs ;
 - **VCN3** : moyenne des débits les plus bas de l'année sur une période des trois jours consécutifs ;
 - **QES** : débit d'étiage spécifique, égal au rapport « VCN10 / superficie du bassin versant considéré », exprimé en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.
-
- Le découpage en entités et domaines s'effectue suivant les contours des bassins versants de surface.
 - Le découpage a pour résultat des polygones jointifs. Il ne peut exister d'entités superposées en raison de l'absence de découpage vertical.
 - Les polygones de niveau régional NV2 sont géométriquement inscrits dans les polygones de niveau national NV1.
 - La dimension des polygones est adaptée aux critères de gestion, donc aux unités de gestion du socle.
 - La classification des entités sur le plan des réserves en eau est fondée sur l'analyse hydrologique, par l'étude des débits d'étiage spécifiques (QES). Elle est réalisée au niveau régional NV2. Cette classification n'a lieu que si les informations nécessaires sont disponibles.
 - La lithologie n'intervient pas dans la définition des entités au niveau national, peu au niveau régional, et de manière prépondérante au niveau local.
 - Les placages fluvio-glaciaires sur le socle dans les paléo-vallées seront considérés comme une unité aquifère au niveau local (NV3) et seront classés dans le thème sédimentaire et non pas dans le thème alluvions, car ils ne sont pas en connexion avec un cours d'eau.

5.3. RÈGLES DE DÉCOUPAGE

Le découpage des bassins s'opère d'abord à l'échelle nationale NV1, puis à l'échelle régionale NV2 et enfin à l'échelle locale NV3.

5.3.1. Niveau national NV1

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

L'échelle de découpage doit aboutir à des entités de niveau national NV1 d'une superficie de l'ordre de quelques milliers de km² (3 000 à 5 000 km² environ).

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

Coder l'entité (codage provisoire) et renseigner la fiche « entité ».

La Corse formera une seule entité de niveau NV1.

5.3.2. Niveau régional NV2

Quatre étapes sont prévues. Seule la première et la dernière sont obligatoires ; les autres seront réalisées éventuellement. En effet, elles nécessitent des données de débit en nombre suffisant (stations de jaugeages bien réparties, historiques de mesures d'une demi-douzaine d'années au moins) et un état des connaissances hydrologiques permettant de savoir si la relation débit d'étiage - état des ressources est valide :

- découpage NV2 par subdivision du découpage national NV1, sur la base de critères morphologiques ;
- caractérisation du QES des bassins versants disposant de jaugeages (critère hydraulique) ;
- affectation d'un QES à chaque entité issue de l'étape 1 ci-dessus (critère hydraulique) ;
- regroupement des entités NV2 caractérisées par la même classe de ressource en eau, en visant une taille optimum des entités NV2 (perspective : critère de gestion).

Première étape :

Définition des contours élémentaires. Les entités définies au niveau national NV1 sont subdivisées en sous-bassins versants pour donner des entités élémentaires de niveau régional NV2, dont la surface est comprise entre 200 et 3 000 km². On procède par sélection du secteur ou du sous-secteur dans la base CARTHAGE.

Deuxième étape :

Évaluation approximative de la ressource en eau sur la base des QES. Cette étape n'est envisageable que si les données disponibles de débits, d'historiques, de densité de stations de jaugeage sont suffisantes. Les données brutes de la banque HYDRO ne

sont pas applicables directement aux entités ainsi découpées, en raison de la répartition hétérogène des stations de jaugeage -d'où correspondance incertaine entre les bassins versants jaugés et les bassins versants élémentaires NV2 issus de la première étape- ou d'historiques de durées inégales. On estimera les débits d'étiage spécifiques des bassins versants issus de la première étape comme suit :

- rechercher les stations de jaugeages répertoriées dans la base HYDRO ;
- sélectionner les stations de jaugeage favorables : bassins versants inscrits ou exinscrits dans les entités NV2, durées d'historiques suffisantes (quelques années au minimum), continuité des enregistrements ;
- établir les contours des bassins versants correspondants à chaque station, par calcul à partir d'un modèle numérique de terrain et des coordonnées de la station (voir procédure en annexe) ;
- relever position et superficie du bassin versant ;
- rechercher les VCN10 des débits enregistrés (banque HYDRO) et calculer les QES correspondants ;
- utiliser la distribution statistique des QES : construire l'histogramme des QES et déterminer quatre classes de valeurs en prenant comme critère soit une répartition équilibrée entre les quatre classes, soit le regroupement approximatif des bassins de lithologies similaires.

On dispose alors des contours des bassins versants liés aux stations de jaugeage, chacun étant accompagné d'une appartenance à une classe représentative de ressources en eau.

Troisième étape :

Extrapoler le QES des bassins versants jaugés aux entités.

On applique à chaque entité une classe de ressources en eau, soit par généralisation de la classe du BV jaugé, si BV et entité se recouvrent sensiblement, soit par corrélation multi-paramètres si BV et entité sont trop différents ou distants. La transposition fait appel à l'appartenance géologique, à la distribution spatiale de la pluie efficace, à l'altitude, éventuellement à d'autres paramètres. On se propose de recourir à un logiciel simple d'interpolation (à créer).

Quatrième étape :

On procèdera à un regroupement par classe identique de QES si les étapes 2 et 3 ont pu être réalisées. Le découpage élémentaire de l'étape 1 avait pour but de se rapprocher de l'échelle des bassins versants jaugés afin de reprendre leurs caractéristiques hydrauliques et de les affecter aux entités. La quatrième étape vise à donner une dimension optimum aux entités. Dans le cas où les caractéristiques hydrauliques n'ont pas été évaluées, on veillera également à définir des entités de dimension optimum :

- au sein d'une même entité de niveau national NV1, réunir les entités contiguës de niveau NV2 caractérisées par la même classe de débit spécifique ;
- coder l'entité (codage provisoire) et renseigner la fiche « entité ».

5.3.3. Niveau local NV3

Les entités définies au niveau régional peuvent être subdivisées au niveau local pour identifier les zones productives en prenant dans l'ordre les critères suivants :

- les épaisseurs des altérites et du milieu fracturé ;
- les grandes classes lithologiques (critères indirects d'altération et de qualité hydrogéologique des altérites) ;
- le tracé des failles issu de la synthèse géologique au 1/250 000 du Massif armoricain ;
- distribution des zones fracturées et leur report à l'échelle de chaque bassin versant par l'interprétation de photographies aériennes ;
- classification des débits spécifiques de forage, accessoirement de la profondeur.

6. Volcanisme

6.1. CRITÈRES D'APPARTENANCE

Les entités volcaniques appartiendront aux massifs volcaniques tertiaires et quaternaires qui ont gardé une géométrie, une morphologie et/ou une structure volcanique identifiable (soit celle d'origine, soit celle résultant d'une évolution géomorphologique simple de type : érosion, affaissement ou effondrement partiel...). Ainsi seront exclues les unités volcaniques dont le comportement hydrogéologique se rapproche de celui des formations de socle, suite aux processus de métamorphisme et de déformation qu'elles ont subi. C'est le cas des :

- roches volcaniques permienes des Maures, de l'Estérel et du Mercantour,
- volcanites antépermienes,
- roches et formations volcaniques incluses dans les séries fortement plissées des chaînes alpines et pyrénéennes.

Pour des raisons de taille non significative en tant qu'aquifère, les divers pointements d'âge secondaire, tertiaire ou quaternaire, sans grand intérêt hydrogéologique, très localisés et généralement dispersés des Vosges, de Lorraine, d'Alsace, de Provence, des Causses, du Languedoc, de Bourgogne, de Limagne, du Forez, d'Ardèche sont exclus.

6.2. DÉFINITIONS, PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DÉCOUPAGE DES FORMATIONS « VOLCANIQUES »

Les aquifères de type volcanique seront découpés aux échelles nationales et locales. L'échelon intermédiaire régional ne sera en principe pas utilisé dans le thème volcanique. Les limites des entités sont de type géologique.

Certains aquifères volcaniques ont un bassin d'alimentation notablement plus étendu que la partie volcanique. Sur la chaîne des Puys, les bassins versants peuvent représenter 15 % supplémentaires par rapport à la surface des coulées volcaniques. C'est évidemment leur surface qui est à prendre en compte dans les calculs de bilan, sur les zones à protéger, etc. À la manière du karst, ces bassins versants apparaîtront sous forme d'image associée à la fiche « entité », pour indiquer la zone d'alimentation, mais ne seront pas retenus comme critère de découpage des entités elles-mêmes.

6.3. RÈGLES DE DÉCOUPAGE

6.3.1. Niveau national

Les entités hydrogéologiques à l'échelle nationale auront une surface comprise entre 100 et 2 500 km². Les limites du niveau national devront coïncider avec des agglomérations des contours du niveau régional. Compte tenu de la répartition spatiale

des formations volcaniques en France, ceci conduira à l'individualisation d'entités hydrogéologiques en grande majorité disjointes les unes des autres (îles : Réunion, Guadeloupe, Martinique, etc. ou massifs volcaniques reposant sur un substratum non volcanique : chaîne des Puys, Cantal, Aubrac, etc.). Le Massif central comprendra quatre ou cinq entités du niveau national (Cantal, Cézallier, Devès - oriental et/ou occidental -, la chaîne de Puys).

Le Cantal présentant peu de ressources en eau souterraines sera considéré comme une seule entité (domaine hydrogéologique) et ne fera pas l'objet de subdivision à l'échelle locale.

Le Mont-Dore devrait idéalement être découpé selon un schéma en 3D pour prendre en compte sa structure en mille-feuilles. Cependant, le niveau de connaissance ne permet absolument pas une représentation qui ressemblerait à celle du sédimentaire sous couverture.

6.3.2. Niveau régional

Compte tenu de l'extension limitée des formations volcaniques existant en France, ces entités hydrogéologiques de niveau national ne seront en général pas subdivisées pour une visualisation au niveau régional (NV2). Si cette subdivision devait intervenir, elle se ferait également de manière ascendante.

6.3.3. Niveau local

Les règles de découpage sont les suivantes :

- identifier les bassins versants (9 dans la chaîne de Puys par exemple) ;
- identifier les structures en sous-bassins versants lorsque c'est possible (Devès par exemple) ;
- tracer les limites lithographiques des formations volcaniques au comportement hydrogéologique homogène : structure géologique, propriétés de fonctionnement hydrogéologique similaires telles que la nature de la perméabilité (d'interstice, de fissures...). On pourra ainsi distinguer les coulées ou empilement de coulées des formations pyroclastiques ou de type lahar par exemple.

Selon l'état des connaissances, on pourra descendre jusqu'au découpage des bassins versants souterrains et également selon les modalités ou l'importance de la recharge.

7. Formations intensément plissées

7.1. CRITÈRES D'APPARTENANCE

Ensembles de formations géologiques récemment plissées appartenant aux massifs montagneux alpins, pyrénéens, languedociens et jurassiens. Ces formations se caractérisent par des variations rapides de la lithologie (souvent latérales), de la stratigraphie et du métamorphisme, en rapport avec les déformations et les structurations des massifs montagneux. Ces variations ont pour conséquences :

- sur le plan géologique : une juxtaposition et/ou une superposition de formations géologiques, de nature et d'épaisseur variées, renforcée par la présence de grandes discontinuités ;
- sur le plan hydrogéologique : une alternance d'aquifères (potentiels ou démontrés) et de niveaux imperméables relatifs de taille et d'extension très variables.

7.2. DÉFINITIONS, PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DÉCOUPAGE DES FORMATIONS « INTENSÉMENT PLISSÉES »

Les principes ci-dessous sont illustrés par le découpage sur un transect est-ouest sur les Alpes (ann. 3). La superposition d'entités de même niveau est possible, mais la connaissance géologique et hydrogéologique sera dans la plupart des cas insuffisante pour réaliser ce découpage.

7.2.1. Niveau national (NV1)

Les grands domaines hydrogéologiques sont des systèmes physiques constitués de plusieurs grands ensembles litho-stratigraphiques peu ou pas aquifères (par rapport aux grands systèmes aquifères nationaux). Ils sont à découper en suivant les grands bassins hydrographiques. Le croisement de ces deux critères (litho-stratigraphie et bassins versants) conduit au découpage des entités.

La figure 1 illustre sur les Pyrénées le découpage en entités de niveau national correspondant aux intersections de limites de bassins versant (en bleu) avec les grandes structures de la haute chaîne primaire avec la zone interne (en tireté jaune et blanc).

Remarque : Dans la version V1, le découpage des entités ne faisait appel qu'aux cours d'eau des principales vallées. La méthodologie V2 introduit le critère lithostratigraphique.

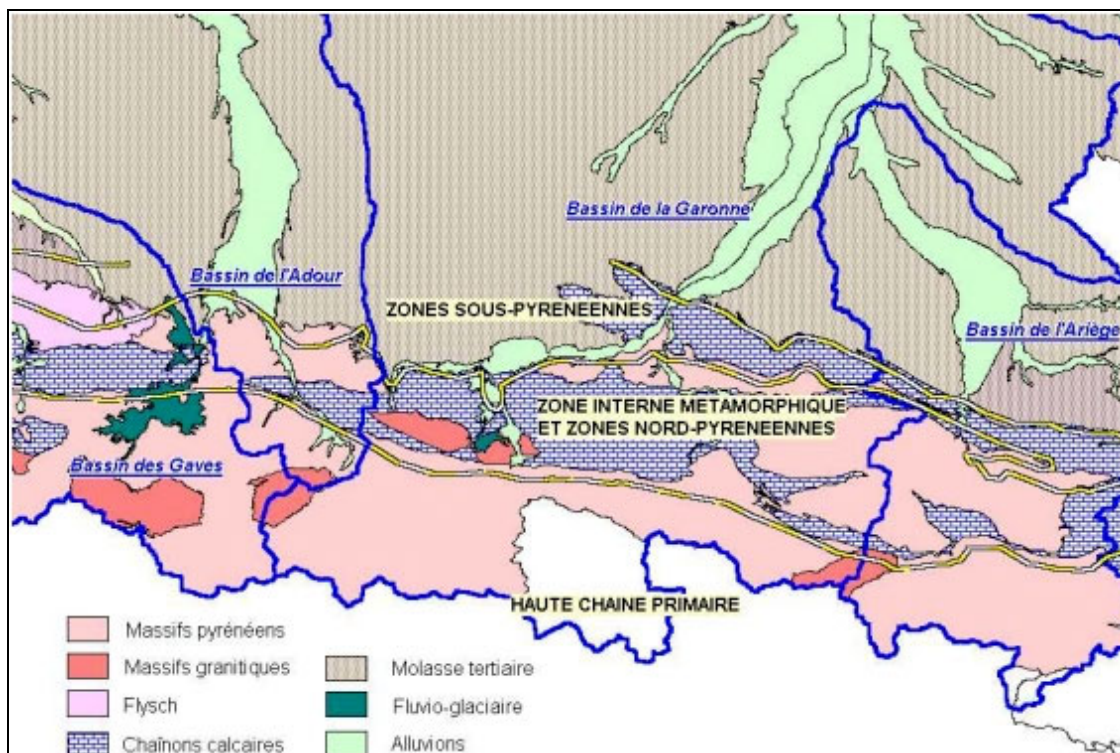


Fig. 7 - Les limites des grands bassins versants sur le massif pyrénéen.

7.2.2. Niveau régional (NV2)

La distinction entre des « domaines hydrogéologiques » (formations imperméables ne disposant pas de ressources exploitables), et des ensembles de formations ou de successions de formations à dominantes aquifères ou potentiellement aquifères (assimilables à des systèmes aquifères ayant globalement les mêmes caractéristiques hydrodynamiques) se fera sur les critères stratigraphiques, lithologiques et structuraux éventuellement hydro-chimiques.

Les limites des systèmes et des domaines s'apparentent aux types suivants :

- limites des bassins versants principaux (en fonction du niveau classement du cours d'eau ou de leur rôle structurant), analogue au niveau NV1,
- contacts structuraux (failles, chevauchement, contact tectonique majeurs etc.),
- limites lithologiques et stratigraphiques.

7.2.3. Niveau local (NV3)

Les aquifères alluviaux de montagne (généralement en fond de vallée) et les aquifères locaux présents dans des formations glaciaires et fluvio-glaciaires, jouent un rôle majeur pour la fourniture d'eau potable. Ils peuvent être les seules ressources exploitées. Ces formations sont à prendre considération comme des « unités aquifères » à part entière, à délimiter et à représenter comme des « couches

supplémentaires » superposées aux entités (domaines ou systèmes) en fonction de leur dimension conséquente et/ou de leur intérêt économique.

Ce niveau sera individualisé facultativement par rapport au niveau NV2, sous réserve de disposer des connaissances nécessaires et suffisantes. Les critères à prendre en compte sont la capacité aquifère et la lithologie.

Remarques

Les grandes limites litho-structurales sont plus facilement visibles sur les cartes géologiques au 1/1 000 000 et 1/250 000 (zone alpine en particulier) qui sont adaptées à une lecture globale, préalable et nécessaire de ces domaines compliqués du point de vue géologique. En cas d'incertitude, la carte au 1/50 000 complète localement l'information. En cas d'hétérogénéité entre cartes au 1/50 000, on recherchera l'homogénéité à travers les cartes au 1/250 000.

La carte au millionième, étant stratigraphique, entraîne des distorsions pour l'analyse fine des limites, mais permet d'identifier l'enveloppe des grandes unités et le schéma structural des zones intensément plissées.

7.3. RÈGLES DE DÉCOUPAGE

Le découpage se déroule en deux phases : une première phase d'identification des entités hydrogéologiques, successivement aux niveaux NV1, NV2 puis NV3, suivie d'une deuxième phase de découpage dans le même ordre des niveaux.

7.3.1. Phase d'identification

- NV1 : identifier les limites structurales entre les zones internes et externes des chaînes de Montagnes (au 1/1 000 000 et/ou 1/250 000). En tracer les contours. Distinguer les chaînons externes (ex. : massifs sub-alpins) qui seront découpés selon les règles applicables aux zones karstiques.
- NV1: identifier les bassins versants de référence pour un découpage *a priori*, en fonction du niveau de classement des cours d'eau concernés (exemple : cours d'eau de niveau 1 pour les Pyrénées, cours d'eau de niveau 2 pour les Alpes). En tracer les contours.
- NV1 : compléter la caractérisation des bassins versants en identifiant les autres principaux cours d'eau structurant (par exemple transverses aux structures),
- Ce tracé global permettra de contrôler l'homogénéité des surfaces découpées (taille, répartition).
- NV2 : identifier dans chacune des entités de niveau national, les différentes unités litho-stratigraphiques et leurs caractéristiques lithologiques en rapport avec leur potentiel aquifère et de réservoir (connu ou supposé).

- NV2 : regrouper et délimiter les différents « systèmes aquifères » et « domaines hydrogéologiques » identifiés.
- Les socles (internes ou externes) seront distingués mais ne feront pas l'objet de découpage selon la méthodologie « socle » qui ne s'applique qu'aux massifs anciens.
- Les subdivisions se feront essentiellement sur les critères stratigraphiques, lithologiques et structuraux (accidents tectoniques, niveaux de déformations, métamorphismes) éventuellement hydrochimiques).

Remarques

Les bassins versants qui ont été définis au niveau national ne seront, *a priori*, pas subdivisés au niveau NV2.

Les massifs calcaires des chaînons externes seront découpés selon la méthode applicable aux karsts, plus en rapport avec la typologie des aquifères rencontrés.

- NV3 : ne délimiter, directement au 1/50 000, que les aquifères exploités (= unités aquifères) et/ou reconnus, hors alluvions et fluvio-glaciaires.
- Représenter les formations alluviales et fluvio-glaciaires aquifères (ou pouvant être aquifères), en liaison ou non avec un cours d'eau, comme des « couches supplémentaires » superposées ou non aux autres entités.
- Formations alluviales de « montagne » : identifier des cônes de déjection, les regroupement de cônes, les éboulis, selon la règle suivante :
 - Les cônes torrentiels « suspendus » (= matériaux grossiers aquifères indépendants hydrauliquement, avec présence de sources à la base) sont considérés comme aquifères distincts des alluvions.
 - Ils seront assimilés ou rattachés aux alluvions s'ils sont intriqués et hydrologiquement communicants.
 - Les cônes de type « coulée boueuse » (matériaux argileux à blocs) sont considérés comme non aquifère.
- Identifier et choisir les contours structuraux ou litho-stratigraphiques des entités à délimiter.
- Tracer les contours des parties affleurantes des grandes entités (nationales), puis des entités régionales, à partir des cartes géologiques au 1/50 000 (à défaut 1/80 000) sur la base des contours préliminaires tracés au 1/250 000.
- Identifier et isoler dans BD-Carthage les cours d'eau et bassins versants correspondants, identifiés dans la phase précédente.
- Analyser et valider les contours des bassins versants correspondants aux cours d'eau.

- Tracer éventuellement le contour sous couverture du système, même de façon schématique, si ce point apporte une information notable du point de vue de la ressource (en particulier l'accès à la ressource). Cette situation se rencontre en particulier dans les zones externes ou dans des zones de flysch ou de calcaires karstiques. Ce tracé est envisageable aux niveaux NV2 et NV3. Il ne présente pas d'intérêt au niveau NV1.

7.3.2. Phase de découpage

- Tracer les contours des bassins versants.
- Coder l'entité (codage provisoire) et renseigner la fiche « entité ».
- NV3 : récupérer les contours de la lithologie au 1/50 000, c'est-à-dire les limites des horizons constituant les réservoirs. Les niveaux imperméables ne sont pas pris en compte, sauf s'ils jouent un rôle vis-à-vis du réservoir (zones d'alimentation des karsts par exemple).

8. Formations karstiques

8.1. CRITÈRES D'APPARTENANCE

Un ensemble potentiellement karstique est un ensemble géologique dans lequel les roches carbonatées sont dominantes, où les écoulements superficiels sont rares en dehors des vallées principales (écoulements régionaux) et présentant, localement au moins, des formes karstiques (dépressions fermées, vallées sèches) ainsi que des sources à débit important au voisinage des vallées principales.

8.2. DÉFINITIONS, PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DÉCOUPAGE DES FORMATIONS KARSTIQUES

Le karst est un attribut de couches carbonatées délimitées dans un autre thème (sédimentaire, intensément plissé). Il n'est pas identifié comme un thème à part entière.

La prise en compte de zones karstiques se fera sur la base de la convergence d'indices de fonctionnement de ce karst : rareté des écoulements superficiels, vitesse d'écoulement d'au moins quelques dizaines de m/h.

Cas particuliers

Pour les karsts binaires, c'est-à-dire quand une partie de l'impluvium est constitué de terrains non karstifiables qui concentrent l'infiltration des eaux en un point, les contours de l'entité seront ceux du réservoir et l'impluvium apparaîtra sous la forme d'une image scannée.

Lorsqu'ils sont connus les karsts profonds seront également identifiés.

8.3. RÈGLES DE DÉCOUPAGE

Les règles de découpage sont à appliquer en fonction du niveau et du thème concerné. Le causse du Quercy illustre ces règles de découpage (fig. 8).

8.3.1. Niveau national NV1

À ce niveau, le découpage consiste à identifier les grands ensembles potentiellement karstifiés des ensembles carbonatés déjà découpés. Dans le sédimentaire, délimiter les ensembles potentiellement karstifiés, à partir de critères :

- morphologiques (partie libre des systèmes carbonatés),
- géologiques (lithologie, structure).

À ce niveau, la connaissance précise des limites « internes » n'est pas nécessaire. Le découpage peut donc être réalisé sur tout le territoire.

Intensément plissé, le karst n'apparaît pas au niveau national NV1 bien que les entités de niveau national peuvent avoir un attribut karstique.

8.3.2. Niveau régional NV2

Ce niveau correspond à un découpage en entités ayant un comportement hydrodynamique de type karstique. L'entité sera classée dans le thème sédimentaire ou intensément plissé et portera l'attribut « karstique ». Le découpage consiste à identifier des ensembles séparés par des limites à la fois hydrauliques et naturelles :

- identifier les secteurs karstifiés et les délimiter ;
- délimiter les entités avec les intersections des bassins versants et des limites naturelles (falaises).

8.3.3. Niveau local NV3

- Délimiter selon l'unité de drainage karstique (surface souvent inférieure à 50 km²) qui peut être définie à partir de traçages. L'emprise du potentiellement karstique n'est pas entièrement recoupée par des traçages.

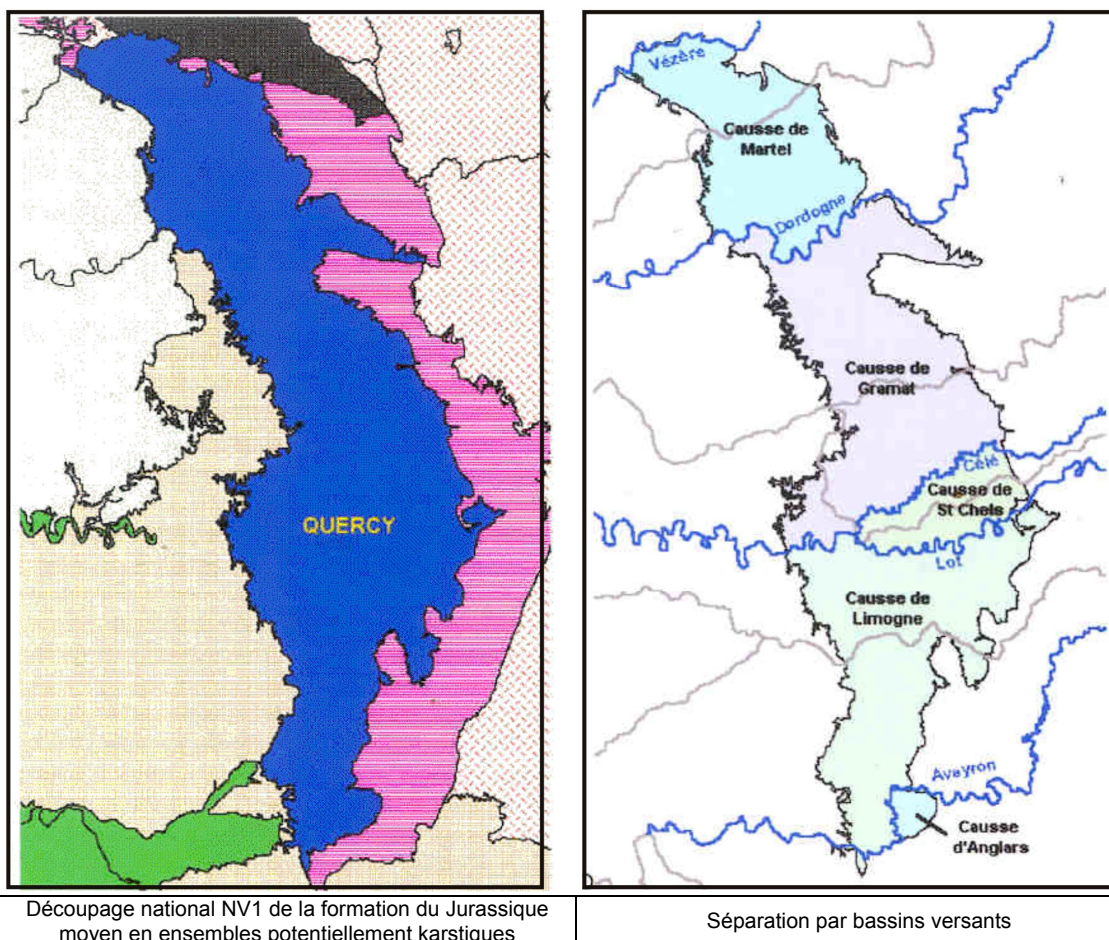


Fig. 8 - Exemple d'un découpage dans la région karstique du Quercy.

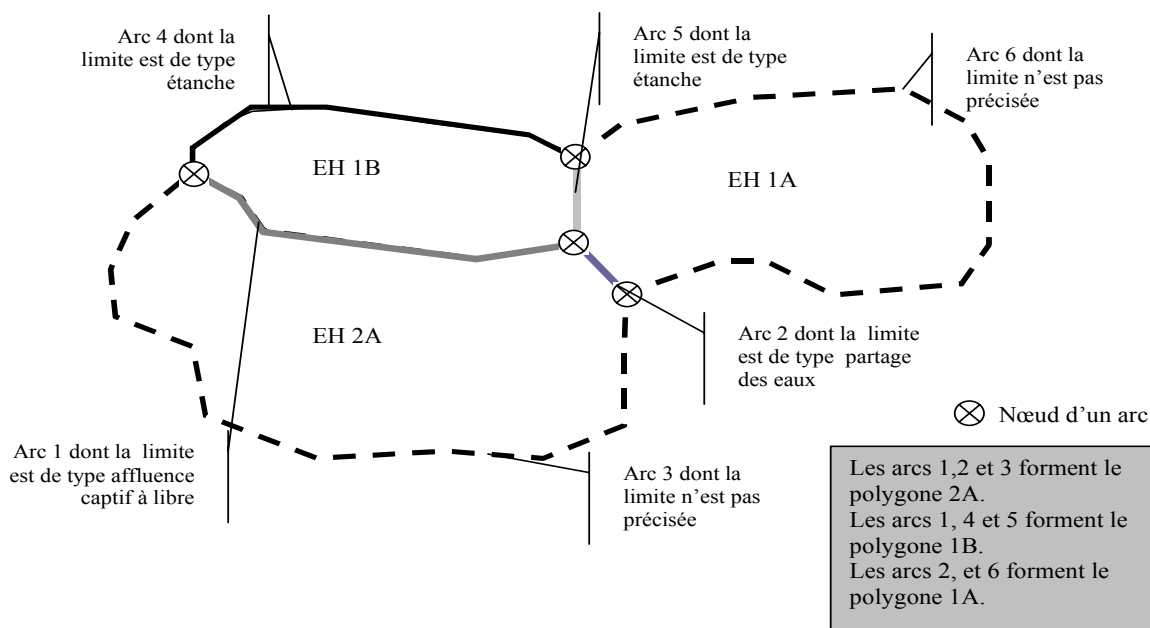
9. Caractérisation des contours

9.1. RELATIONS LATÉRALES ENTRE ENTITÉS POUR LES SURFACES AFFLEURANTES

Ce paragraphe est extrait intégralement du rapport Oieau sur les « Descriptions de données sur le référentiel hydrogéologique version 2 ».

Les relations hydrauliques latérales ou quasi-latérales entre entités sont représentées cartographiquement uniquement pour les surfaces affleurantes - ou les polygones affleurants - au travers d'un attribut indiqué pour chaque arc commun. Il s'agit d'une simplification puisque le contour de l'entité est confondu avec la limite hydraulique entre deux entités, ce qui est rarement le cas. Néanmoins, cette simplification permet d'organiser les données au sein d'un système d'information exploitable aisément.

Chaque arc de l'entité dont on connaît la relation hydraulique latérale avec son entité voisine possède donc une information complémentaire à celle décrite dans le IV.A (précision et niveau de connaissance). Dès qu'une de ces informations change, l'arc géométrique est terminé par un nœud et un nouvel arc est créé. Le schéma ci-après illustre le principe de modélisation.



9.2. CARACTÉRISATION HYDRAULIQUE DES CONTOURS

9.2.1. Principes de base

Dans une première étape, les limites des entités ont été définies sur la base et l'interprétation d'informations géologiques : elles délimitent des géométries. L'étape

suivante consiste à définir la nature hydraulique de ces limites et éventuellement rajouter des limites purement hydrauliques, sans lien avec la géologie. La mise en place d'une nomenclature dans le cadre de la BD RHF doit respecter quelques contraintes préalables, rappelées ci-après :

- la nomenclature doit pouvoir s'appliquer sur toute la France ;
- le choix des limites doit être relativement restreint et simple pour pouvoir être réalisé avec le niveau de connaissance disponible pour chaque aquifère ;
- les limites retenues doivent s'appliquer pour les zones affleurantes. Les limites sous couverture ne seront pas qualifiées sur le plan hydraulique.

Ces contraintes conduisent à proposer des catégories regroupant des limites plus ou moins similaires et non pas à tenter d'établir la liste exhaustive de tous les cas pouvant être observés dans la nature (27 cas recensés dans le rapport 78 SGN 473 HYD « nouvelle légende de carte hydrogéologique »).

Les onze catégories de limites retenues sont proches de celles proposées dans la carte hydrogéologique de la France au 1/1 500 000 BRGM 1980 (Margat).

9.2.2. Cas particuliers

Contours au niveau de la mer :

- relever le trait de cote si la limite de l'aquifère côté mer est inconnue ou sans intérêt hydrogéologique ;
- relever la bordure géologique de l'aquifère si celle-ci est connue.
- Deux limites particulières supplémentaires peuvent être choisies :
- limite inconnue ;
- frontière avec pays étranger.

9.2.3. Liste des limites hydrauliques

Les qualifications hydrauliques possibles des contours des entités dans la BD RHF® sont au nombre de 11. La limite à cartographier ne correspond pas forcément avec la limite hydraulique réelle.

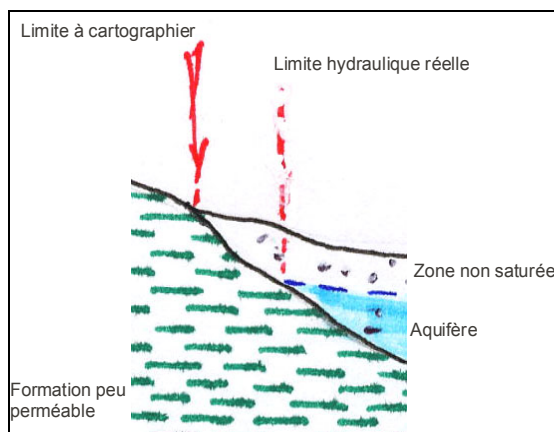


Fig. 9 - Légende des illustrations des limites.

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). La limite présentée dans le cadre du référentiel V2 sera une position moyenne.

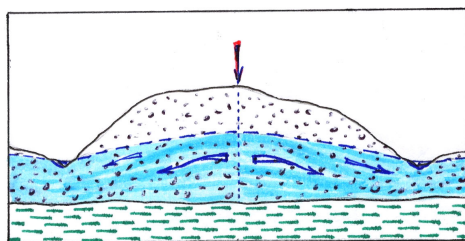


Fig. 10 - Ligne de partage des eaux souterraines.

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.

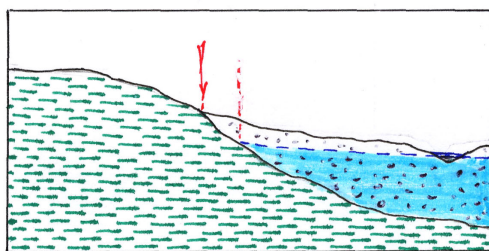


Fig. 11 - Limite étanche.

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

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) au niveau des affleurements.

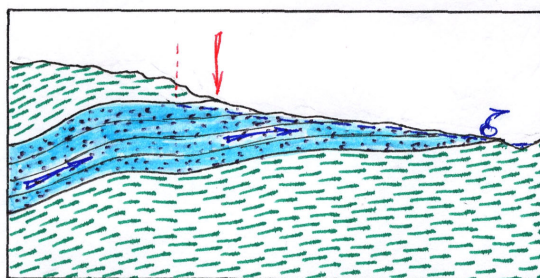


Fig. 12 - Ligne d'affluence d'un aquifère captif à un aquifère libre.

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

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 de Lorraine.

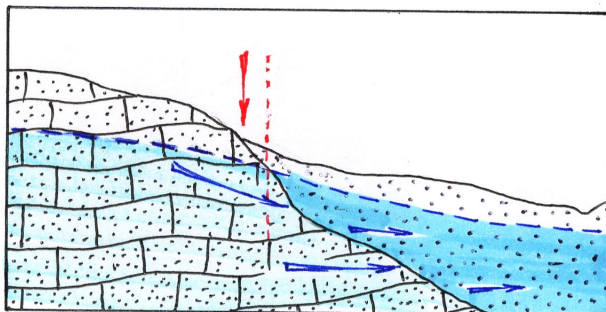


Fig. 13 - Ligne d'affluence des eaux de formations perméables/semi-perméables à un aquifère libre emboîté ou à un autre aquifère en contact par faille.

e) Ligne de sources de déversement

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.

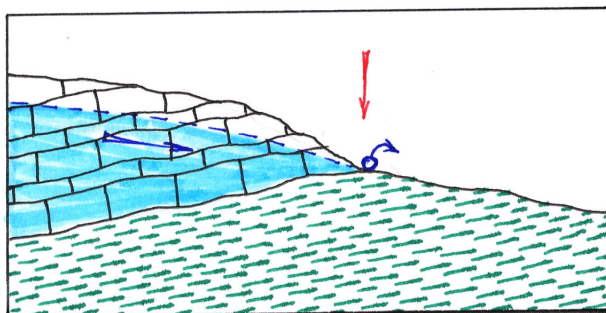


Fig. 14 - Ligne de sources de déversement.

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.

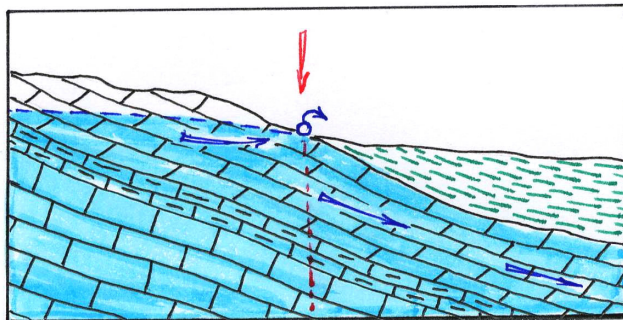


Fig. 15 - Ligne de débordement continue ou discontinue.

g) Cours d'eau perché, à pertes par infiltration, souvent associé à du karst

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. Exemple : l'Yerres et l'Aubetin sur le calcaire de Champigny à l'est d'Evry.

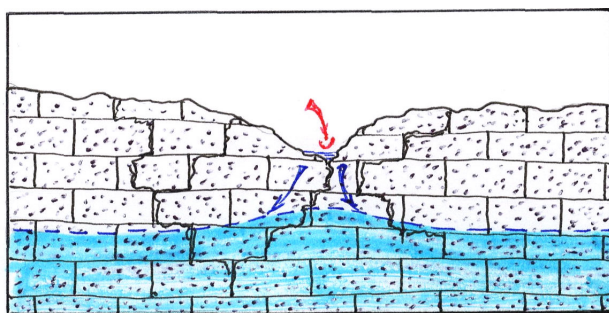


Fig. 16 - Cours d'eau perché.

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 : les limites 9 et 10 seront appliquées quand la connaissance sera suffisante et/ou correspondra à un cas caractéristique ; la limite 8 sera vraisemblablement la plus fréquente : globalement, les rivières drainent les aquifères, mais localement et lors de périodes de crues, la rivière peut alimenter la nappe.

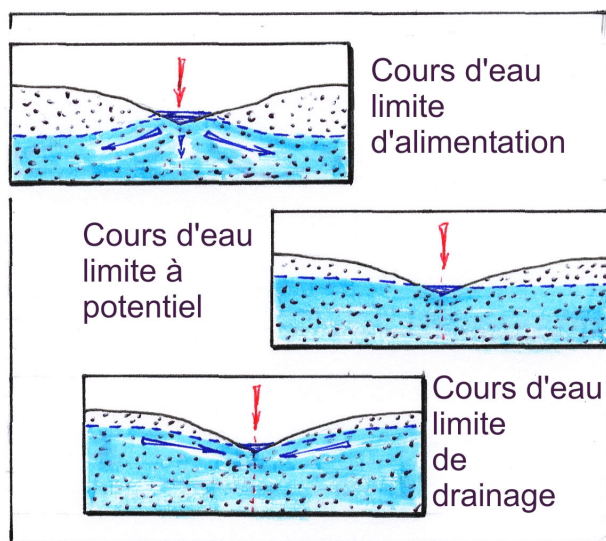


Fig. 17 - Limites avec les cours d'eau.

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.

ANNEXE 1

Élaboration de la méthodologie de découpage des entités hydrogéologiques

1. Introduction

Un premier découpage de la France en systèmes aquifères et domaines hydrogéologiques a été proposé par J. Margat en 1980. Le document final, une carte détaillée, a été produit à l'échelle 1/1 000 000.

Ce document a servi de première ébauche au référentiel BD RHF. Cette ébauche fut complétée sur certaines zones (Est, Sud-Est, Aquitaine...) par un découpage au 1/50 000 (parfois au 1/100 000) selon des critères différents d'une zone à l'autre. La version V1 obtenue est donc hétérogène tant sur le plan de la taille des entités (traitement à différentes échelles) qu'au niveau des critères de découpage. Elle est strictement 2D, constituée de polygones jointifs et n'illustrent que la partie affleurante des aquifères.

À la demande de la direction de l'Eau au Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) et dans le cadre des travaux du Réseau National des Données sur l'eau (RNDE), le BRGM fut chargé d'organiser et de synthétiser un mode de découpage homogène à l'échelle du territoire.

2. Objectifs et principes généraux

2.1. PHASE 1 : APPROCHE CONCEPTUELLE

Menée en 2001, elle a permis de conduire une réflexion sur la méthode de caractérisation et de description de six types de formations qui avaient été relativement sommairement traitées dans la version BD RHF V1 :

- les formations multicouches (aquifères captifs, semi-captifs et parties libres associées) ;
- les formations volcaniques ;
- les formations de socle ;
- les formations intensément plissées ;
- les formations alluviales ;
- les formations karstiques.

Au terme de dix réunions regroupant quarante experts, il a été établi et remis au MEDD un rapport provisoire illustré et synthétisé par six fiches thématiques simplifiées. Sur chacune de ces fiches est rappelée la définition précise du thème ainsi qu'une proposition de découpage à trois échelles : l'échelle nationale : 1/1 000 000 dite NV1, l'échelle régionale : 1/250 000 dite NV2 et l'échelle locale : 1/50 000 dite NV3).

Les entités sont désignées comme suit :

- niveau national NV1 : grands systèmes aquifères et grands domaines non aquifères ;
- niveau régional NV2 : systèmes aquifères et domaines non aquifères ;

- niveau local NV3 : unités aquifères, unités semi-perméables et unités imperméables (ces unités correspondent à des variations verticales franches et à des fonctionnements hydrodynamiques différents).

Au niveau NV3 pourront apparaître conjointement des unités aquifères et non aquifères qui sont groupées au sein d'un unique domaine à dominante imperméable au niveau NV2, et ainsi de suite pour NV2 et NV1.

Le constat final de cette première phase fait apparaître :

- la nécessité d'introduire la notion de multicouche dans les grands bassins sédimentaires. La version V1, limitée par son architecture constituée de polygones jointifs, ne montre que la partie affleurante (assimilée à la partie libre) des aquifères sédimentaires. Cette aire d'affleurement, ne représentant qu'une partie de l'aire d'extension des formations s'avère insuffisante ;
- la nécessité de considérer le domaine alluvial comme une couche indépendante (il est convenu de ne pas traiter les échanges substratum <—> domaine alluvial) ;
- la nécessité d'introduire l'état de karstification en deuxième niveau (attribut) se rapportant facultativement aux ensembles sédimentaires multicouches et aux ensembles intensément plissés ;
- la nécessité de travailler à l'échelle la plus fine (1/50 000) en regroupant les unités et en procédant par contours-enveloppes pour aborder les échelles plus petites : régionale et nationale.

L'ensemble des résultats de l'approche conceptuelle n'est pas repris en tant que tel dans le présent document mais incorporé dans les recommandations qui sont proposées dans les chapitres opérationnels qui suivent (§ 3 à 8).

2.2. PHASE 2 : EXPÉRIMENTATION DE LA MÉTHODE SUR DES ZONES TESTS

L'expérimentation a été conduite en octobre et novembre 2002. Elle avait pour but de tester dans chaque bassin (sur huit zones tests) les propositions de découpage établies lors de l'approche conceptuelle. Sur la base des documents disponibles (transects géologiques au 1/50 000, BD RHF V1, description des bassins versants hydrographiques, logs de forages), l'exercice a été mené en plusieurs stades :

- à partir d'une carte géologique, régionale ou nationale, un découpage grossier de la surface du bassin par thème a été effectué, de façon préliminaire, en vue d'une première compréhension d'ensemble ;
- le travail est ensuite mené sur la base de la carte géologique au 1/50 000 ;
- le thème « alluvial » est isolé en premier. Contrairement aux conclusions de la phase thématique, il a été décidé d'identifier et de saisir les alluvions aquifères à l'échelle du 1/50 000 ;
- toutes les informations complémentaires permettant de différencier les alluvions aquifères des alluvions non aquifères, (forages d'eau, notices, synthèse hydrogéologique...) ont été recherchées. Les alluvions non aquifères seront ignorées au même titre que les formations superficielles non aquifères ;

- le thème « sédimentaire » est traité dans un premier temps sur la base de la carte géologique au 1/50 000. Les données issues de la carte géologique ne permettent d'en traiter directement que la partie affleurante, assimilée à la partie libre des grands systèmes, systèmes et unités ;
- la partie sous couverture (subsurface) est traitée dans un deuxième temps, à une échelle adaptée à la densité des points de contrôle (forages) disponibles en subsurface (en général entre 1/100 000 et 1/250 000) ;
- un exercice essentiel, et préliminaire au découpage en entités, consiste à construire un log synthétique détaillé des unités hydrogéologiques en les regroupant et en les hiérarchisant, échelle par échelle de NV1 à NV3. Cet exercice nécessite une connaissance régionale détaillée. La démarche devra être cohérente au sein d'un bassin sédimentaire qui appartiendrait à plusieurs bassins hydrographiques. La saisie des contours peut être menée à l'échelle 1/50 000. Il convient de préciser que ce travail nécessitera de créer des contours, inexistantes sur les documents de départ, par extrapolation, pour décrire les limites cachées des entités. C'est le cas en particulier sous les alluvions et les formations superficielles. La particularité des ensembles multicouches est d'être découpée hydro-stratigraphiquement et cartographiquement sur des critères géologiques (grands systèmes, systèmes...) mais également sur des critères piézométriques et/ou hydrographiques pour leur partie libre (bassins versants de surface, interfluves, bassins versants souterrains...) ;
- le thème des formations « intensément plissées » est traité en deux phases : une première phase d'identification des entités hydrogéologiques, successivement aux niveaux NV1, NV2 puis NV3, suivie d'une deuxième phase de découpage dans le même ordre des niveaux ;
- le thème « karst », au moins à l'échelle nationale, sera considéré comme un attribut (facultatif) des systèmes carbonatés libres ou semi-captifs s'inscrivant dans le thème multicouche ;
- la définition des formations de « socle » concerne essentiellement les formations magmatiques et cristallophylliennes. Elle a été étendue aux terrains sédimentaires anciens tectonisés (zone centrale du Massif armoricain, Massif ardennais, allochtone du nord de la France) ;
- la méthode proposant un classement des bassins versants par débit d'étiage (quatre catégories), reste soumise à contrôle en raison de la distribution hétérogène et de la validité inégale des courbes de tarage en étiage. Il est proposé, par bassin versant, d'avoir accès à une banque de données (hauteurs et courbes de tarage, cf. base de données Carthage) ;
- au niveau local NV3, la fracturation liée à la tectonique sera prise en compte au même titre que l'altération.

3. Établissement de la méthode

3.1. APPROCHE CONCEPTUELLE

Elle a fait l'objet d'un premier rapport d'étape dont les conclusions sont reprises et ordonnées dans les chapitres ci-après (§ 3 et suivants).

3.2. EXPÉRIMENTATION SUR ZONES TESTS

Sur les bases du rapport méthodologique provisoire issu de la phase 1 (fiches résumées et illustrations), l'exercice a été mené par bassin, sur des transects comportant un échantillonnage aussi large que possible des formations rencontrées dans le bassin. Huit zones tests ont été sélectionnées :

- Artois-Picardie et Seine-Normandie,
- Rhin-Meuse nord,
- Rhin-Meuse sud,
- Rhône-Méditerranée-Corse,
- Adour-Garonne,
- Loire-Bretagne socle,
- Loire-Bretagne volcanisme.

Les transects choisis sur lesquels les découpages ont été menés sont les suivants :

- Le transect nord-sud qui concerne le bassin houiller du Pas-de-Calais et la craie. Il est relayé au sud par le transect nord-sud du bassin Seine-Normandie qui recoupe des formations tertiaires, relayé toujours plus au sud par le transect situé en Loire-Bretagne, qui recoupe des formations du Tertiaire au Jurassique. Loire-Bretagne est complétée par un test initialement prévu sur un transect nord-sud au travers de la Bretagne. Finalement, il s'est avéré aussi simple et plus complet de mener l'évaluation de la méthodologie du socle sur l'ensemble de la Bretagne.
- Sur le territoire de l'agence Rhin-Meuse, deux transects est-ouest ont été définis : le plus au nord recoupe les auréoles orientales du bassin de Paris depuis le Malm jusqu'au Trias. Le deuxième, plus au sud, recoupe les assises de base du Trias, le socle du massif des Vosges et le Fossé Rhénan.
- Le transect de Rhône-Méditerranée-Corse recoupe le socle du Massif central, le sédimentaire du sud-est et les différents domaines de l'intensément plissé. Sur le territoire de l'agence Adour-Garonne, c'est un transect est-ouest qui recoupe des terrains datés du Tertiaire au Trias, au voisinage de la Dordogne.

La phase expérimentale s'est déroulée globalement en trois étapes :

- une étape de dégrossissage avec six réunions en bassin pour détailler la méthodologie et les conventions à appliquer et pour établir le tableau multi-échelles ;
- une étape de réalisation des exercices de découpage avec le soutien des services géologiques régionaux ;

- une étape de validation par les agences, les DIREN lors de six réunions locales.

Les résultats obtenus constituent la base du guide méthodologique qui servira d'ouvrage de référence pour la production des deux prochaines années. Ils sont présentés :

- par chapitre concernant chacun un thème (chapitres 3 à 8) ;
- par région avec les comptes rendus des validations et des exemples.

Ont participé : des représentants de l'agence du bassin concerné, de la (ou des) DIREN et du BRGM. Il a permis de :

- contrôler la pertinence des règles par thème présentées dans le rapport provisoire ;
- déterminer la répartition des entités de chaque bassin par thème ;
- faire l'inventaire des entités au sein de chaque thème ;
- dresser un inventaire provisoire des données disponibles.

Chaque exercice test a été conclu par un rapport de synthèse dans le but de :

- faire ressortir les points établis et traiter les insuffisances de l'approche méthodologique initiale ;
- fournir un plan du guide méthodologique, généralisable à l'ensemble du bassin en prévision de la phase de réalisation de BDRHF V2 ;
- fournir les recommandations spécifiques au bassin pour la réalisation de BDRHF V2.

Les transects proposés ainsi que les documents associés ont été présentés pour validation dans les différents bassins : SGR, agence de l'Eau et DIREN. Des modifications ont pu être apportées et ont été prises en compte.

L'ensemble des résultats de l'approche méthodologique initiale, ainsi que des tests de validation par bassins, sont consignés dans le présent rapport, dont les chapitres 3 à 8 et les annexes sont conçues comme la première partie d'un manuel de découpage, à l'attention des réalisateurs de BD RHF V2. Ce manuel doit garantir l'application d'une méthodologie unique à travers tout le territoire. Il entend proposer une solution à chaque configuration régionale ou locale spécifique dans lesquelles la méthodologie générale pourrait se révéler insuffisamment précise.

Parallèlement, l'Oieau a la charge d'établir les recommandations en matière de représentation cartographique et d'application des standards du SANDRE, qui constitueront la seconde et dernière partie du manuel de codage.

ANNEXE 2

Liste des auteurs et membres du comité de pilotage, des groupes de travail et de réalisation des tests

Le guide méthodologique BD RHF® version V2 résulte d'un exercice partenarial. La rédaction finale a été assurée par : Petit V., Pointet T., Hanot F.

Les personnes suivantes ont participé à la conception de ce guide comme membre du comité national ou de groupe de travail, ou à la réalisation des tests :

AEAG	Marchet P.
AEAP	Vallée K.
AELB	Ratheau D.
AERM	Lapuyade F.
AERMC	Cadilhac L.
AESN	Barnel S.
AESN	Garnier C.
AESN	Leroy B.
Antéa	Babot Y.
Antéa	Chevallier-Lemire G.
CG	Tarisse A.
CT Auvergne	Livet M.
DIREN RHA	Martelat A.
DIREN Bassin AP	Viprey F.
DIREN BN	Mazenc B.
DIREN de bassin SN	Dessevre A.
DIREN HN	Feeny V.
DIREN MPY	Marion M.
DIREN MPY / BRGM	Ricard J.
DIREN RHA	David A.
DIREN Auvergne	Nicolau N.
ENG Nancy	Bues M.
MEDD / DE	Chadourne D.
MEDDD / DE	Deix J.
OIEau / BNDE	Bourguignon D.
OIEau / SANDRE	Lagarde P.
OIEau / SANDRE	Prunayre F.
BRGM CDG/CG	Janjou D.
BRGM SGR / ALS	Elsass P.
BRGM SGR / AQI	Bichot F.
BRGM SGR / AUV	Bertin C.
BRGM SGR / BRE	Carn A.
BRGM SGR / BRE	Mougin B.
BRGM SGR / CEN	Maget P.
BRGM SGR / LOR	Baubron J.C.
BRGM SGR / LOR	Nguyen-The D.
BRGM SGR / MPY	Dagain J.
BRGM SGR / NPC	Caous J.Y.
BRGM SGR / NPC	Pinson S.
BRGM SGR / PAC	Rampnoux N.
BRGM SGR / RHA	Lamotte C.

ANNEXE 3

Synthèse des tests de découpage par bassin

La distribution par bassin des thèmes qui ont fait l'objet de tests de caractérisation (zones tests) est la suivante :

	Alluvial	Sédimentaire	Socle	Volcanisme	Intensément plissé	Karst
Seine-Normandie	X	X	X			X
Loire-Bretagne	X	X	X	X		X
Artois-Picardie	X	X	X			X
Rhin-Meuse	X	X	X			X
Adour-Garonne	X	X	X	X	X	X
Rhône-Méditerranée-Corse	X	X	X	X	X	X

Annexe 3.1. - Bassin Seine-Normandie

a) Cadre hydrogéologique

Le bassin Seine-Normandie s'inscrit dans trois thèmes :

- le socle du nord du Massif armoricain, du nord du Massif central, du Massif ardennais ;
- le sédimentaire du bassin de Paris avec des terrains dont les âges s'échelonnent entre le Trias (affleurement des Vosges) et le Tertiaire dans le centre du bassin où la pile sédimentaire atteint 3 000 m. Le karst affecte les formations carbonatées d'âges indifférents ;
- l'alluvial de la Seine et de ses affluents.

L'exercice de découpage a été principalement axé sur le Tertiaire et le Crétacé, sachant que le Jurassique serait traité de façon détaillée dans le bassin Rhin-Meuse (Lorraine) et que le socle serait traité dans le bassin Loire-Bretagne. Le Tertiaire montre des terrains affleurants de plus en plus récents du nord vers le sud. Le substratum de la zone test est le Crétacé supérieur.

À l'échelle d'approche NV1, l'ensemble Tertiaire-Crétacé peut se diviser en six entités qui sont, du haut vers le bas :

- le grand système Oligocène affleurant sur la Beauce et la Brie ;
- le grand domaine Sannoisien-Ludien affleurant sur la Brie ;
- le grand système Eocène ;
- le grand domaine Sparnacien ;
- le grand système Paléocène Crétacé supérieur ;
- le grand domaine Albien.

b) Individualisation des formations alluviales

L'échelle de saisie 1/1 000 000 pour les formations alluviales en vue de leur représentation au niveau NV1 s'est avérée non pertinente. Le document de base à savoir la carte géologique de France au 1/1 000 000 ne représente pas les alluvions dans leur extension réelle mais uniquement en terme d'extensions. On lui a substitué la carte géologique au 1/50 000.

L'ensemble des alluvions figurant sur la carte géologique a été pris en compte en ayant conscience que cette démarche n'était pas satisfaisante et qu'elle devrait être complétée par l'examen d'autres documents illustrant les potentialités des alluvions (notice de carte géologique, position des forages AEP, inventaire des ressources hydraulique). À l'aide de ces documents ne seront prises en compte que les alluvions anciennes présentant un intérêt en terme de ressource (à insérer dans la fiche Alluvions dans le tableau des options).

Dans la vallée de l'Aisne les alluvions anciennes sont en communication avec les alluvions modernes : à placer dans la fiche alluvions.

c) Découpage des entités sédimentaires

- **Découpage « vertical »**

Les trois niveaux d'approche supposent trois échelles de découpage hydrostratigraphique. Ces découpages sont emboîtés en raison de la progressivité des échelles. Pour le bassin Seine-Normandie les trois ensembles d'entités sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Au niveau NV3, vingt-quatre unités ont été définies, dont treize aquifères, quatre unités semi-perméables et sept unités imperméables. Au niveau NV2, les unités sont regroupées en dix systèmes et domaines, lesquels sont regroupés en sept grands systèmes et grands domaines en niveau NV1.

Le log triple (ci-après) a été établi en partant de l'échelle locale NV3, c'est-à-dire du niveau de la *formation*. Le seuil de coupure est la formation ou la superposition verticale des formations qui représentent un intérêt hydrogéologique commune. Une ou plusieurs formations peuvent disparaître latéralement (exemple : les sables de Fontainebleau). Cette liste n'est pas absolument exhaustive et s'appuie sur les termes les plus couramment employés en stratigraphie.

Dans l'ordre de leur superposition stratigraphique, les entités sont les suivantes :

- l'ensemble supérieur, constitué d'unités imperméables et semi-perméables, correspond au grand domaine de Sologne. Il est représenté à l'échelle nationale et à l'échelle régionale ;
- les systèmes Calcaires de Beauce et les Sables de Fontainebleau sont représentés au niveau NV2. Ils sont constitués d'une alternance d'unités aquifères et semi-perméables. Ces dernières (Molasses d'Étrechy et Molasses du Gâtinais) n'ont qu'une extension réduite. La différenciation des deux systèmes est justifiée par un comportement hydrodynamique et une hydrochimie très différents : l'essentiel des réserves du système calcaire de Beauce est contenu dans les calcaires poreux et surtout fissurés alors que le système des Sables de Fontainebleau présente une porosité inter granulaire ;
- le grand domaine Sannoisien-Ludien représenté en niveau NV1 et en niveau NV2 est constitué d'unités imperméables ;
- le grand système Éocène se subdivise en un système Éocène supérieur et un système Eocène moyen et inférieur. Cette subdivision ancienne (Atlas Mégnien, 1972) est essentiellement géographique, le système Éocène supérieur correspondant principalement à la région de la Brie hydrogéologiquement très sollicitée ;
- le grand domaine Sparnacien est continu à l'échelle de la couverture tertiaire du bassin de Paris.

National NV1	Régional NV2	Local NV3	
			Unités
GS Grand Système	S Système	UA	Unité Aquifère
GD Grand Domaine	D Domaine	US	Unité Semi-perméable
		UI	Unité imperméable
GD de Sologne	GD	US	Sables de Sologne
		US	Marnes et sables de l'Orléanais
		UI	Marnes de Blâmont
		UA	Calcaires de Pithiviers
GS Oligocène	S Calcaires de Beauce	US	Molasses du Gâtinais
		UA	Calcaires d'Etampes
		UA	Sables de Fontainebleau
	S Sables de Fontainebleau	US	Molasses d'Etrechy et marnes à huîtres
		UA	Calcaires de Brie
		UI	Marnes Vertes
GD Sannoisien–Ludien	GD	UI	Marnes Supra Gypseuses
		UA	Calcaires de Champigny
GS Eocène	S Éocène supérieur	UI	Marnes Infra Gypseuses
		UA	Sables de Montceau
		UA	Calcaires St Ouen
		UA	Sables auversiens
	S Éocène moyen et inférieur	UA	Calcaires lutétiens
		UA	Sables de Cuise
		UI	Argiles du Sparnacien
		UA	Sables du Thanétien
GD Sparnacien	GD	UA	Danien
GS Paléocène-Crétacé supérieur	S Paléocène	UA	Craie
	S Crétacé Supérieur	UA	Marnes de Brienne
GD Albien	GD	UI	Argiles du Gault

Le grand système Paléocène-Crétacé supérieur est subdivisé en deux systèmes :

- un système supérieur Paléocène d'extension réduite, d'épaisseur très variable et très hétérogène au plan des qualités réservoir (le découpage de niveau 3 en deux unités a été volontairement simplificateur) ;
- un système Crétacé supérieur épais au maximum de 700 m qui couvre un tiers du territoire national. Dans le cadre de cet exercice, le système Crétacé supérieur dans l'emprise du Bassin Seine-Normandie n'a pas fait l'objet d'un découpage plus détaillé. Sous le terme craie est regroupé un ensemble d'unités hydrogéologiquement semblables ;
- le grand domaine Albien représenté en NV1 et NV2 est continu à l'échelle du bassin et isole l'aquifère captif et protégé des sables verts de l'Albien ;
- les terrains sédimentaires sous-jacents présents sur le bassin ne sont pas intégrés dans le tableau, sachant que le Jurassique est traité de façon détaillée dans le bassin Rhin-Meuse et le Crétacé dans le bassin Artois-Picardie (voir ann. 3.4. et 3.5. respectivement) ;
- le socle fait l'objet d'un exercice sur le bassin Loire-Bretagne (ann. 3.2.).

• Documents de référence

- cartes géologiques scannées assemblées ;
- BD RHF V1 ;
- cartes des bassins versants ;
- plan de position des forages ;

- l'atlas hydrogéologique du Bassin de Paris (C. Megnien, 1972) ;
- la carte hydrogéologique (M. Albinet, 1968).

- **Transposition BD RHF V1 → BD RHF V2**

L'examen rapide de BD RHF V1 montre l'inadéquation du choix de certains contours vectorisés, non transposables à la version V2. Exemples : Oligocène et Eocène font l'objet d'un regroupement en Brie (022b0 et 022b1). Inversement, le Sparnacien (grand domaine) semble avoir été différencié.

- **Tracé de la partie affleurante**

Le principal document utilisé, pour l'exercice aux niveaux NV3 et NV2, est l'assemblage des cartes géologiques scannées au 1/50 000. À titre d'exemple, on a tracé sur la partie nord du transect les contours des entités dans leur partie libre, assimilée à la partie affleurante (les informations permettant de tracer avec certitude la limite libre - captif sont rarement disponibles ou suffisantes).

Le travail est grandement facilité par l'apport du tableau multi-échelles. Les difficultés principales proviennent du manque de lisibilité des cartes géologiques au niveau du substratum géologique : les contacts sont souvent masqués par des formations superficielles (limons, argiles à silex...) ou des alluvions. Il est nécessaire de reconstituer par interpolation les contours masqués. Pour les parties unites sous couverture tertiaire, cette reconstitution s'opère sur des distances maximales de l'ordre du kilomètre, ce qui ne minimise l'incertitude. Sur les plaines de la Craie ou la Beauce, où le substrat n'affleure que dans les rares vallées, cette reconstitution est bien moins précise et nécessite de recourir aux compétences d'un spécialiste.

- **Tracé de la partie captive ou sous couverture**

Il est rappelé que par ordre de priorité seront représentées :

- l'aire d'extension,
- la piézométrie moyenne,
- la profondeur,
- l'épaisseur.

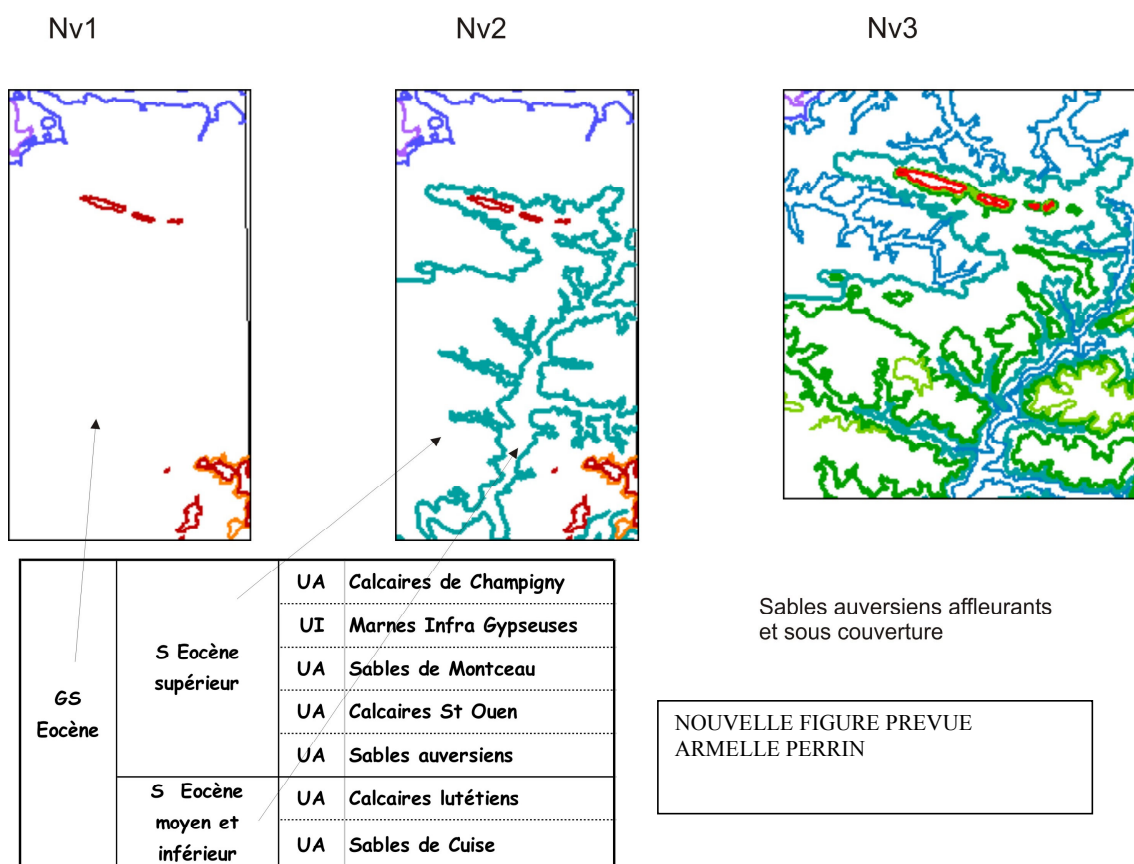
Les documents cartographiques et particulièrement les surfaces de référence (isopièzes, isohypses...) sont établis à partir des données de forages dont la densité spatiale décroît très rapidement avec la profondeur (93 % des forages n'excèdent pas 125 m de profondeur). Ces représentations ne présentent donc pas la même précision aux différentes profondeurs, et peuvent même présenter des lacunes. Il conviendra alors d'augmenter le recul et de recourir aux échelles plus petites que NV1 (1/100 000, 1/200 000...).

- **Découpage horizontal en unités (sédimentaire)**

Le découpage horizontal prendra en compte et successivement :

- les zones d'affleurement ou les parties libres des unités, quels que soient les niveaux NV1, NV2 ou NV3 (source : carte géologique au 1/50 000) ;
- les interfluves des grands fleuves pour le niveau NV2, les bassins versants souterrains pour le niveau NV3.

Un exemple de découpage sur le bassin Seine-Normandie est montré sur la figure ci-dessous. Au niveau national NV1, le grand système de l'Éocène supérieur est représenté ; quelques secteurs sont sous recouvrement (des Marnes vertes de Romainville). Au niveau régional NV2, les systèmes Eocène supérieur et Eocène moyen et inférieur sont distingués. Au niveau NV3, l'unité aquifère des sables auversiens est indiquée avec une partie affleurante et une partie sous couverture.



• Délimitation des zones karstifiées

Tous les calcaires du bassin de Paris sont potentiellement karstifiables. Ce point sera à examiner au cas par cas. Exemples : les calcaires de Beauce dans la moitié sud du plateau de Beauce, le calcaire de Champigny en Brie orientale, la craie de la forêt d'Othe et de la Haute-Normandie.

Annexe 3.2. - Bassin Loire-Bretagne

a) Cadrage hydrogéologique

Le bassin Loire-Bretagne peut être subdivisé en trois parties :

- le socle armoricain à l'ouest constitué de roches intrusives et métamorphiques. Certaines formations ont conservé un aspect sédimentaire mais sont très tectonisées et ont perdu leur porosité initiale ;
- la partie sédimentaire du sud-ouest du bassin de Paris présentant des terrains récents, tertiaires et quaternaires, correspondant à la Sologne et à la Brenne. Les formations de Sologne, globalement imperméables, recouvrent le sud des calcaires de Beauce exploités sous couverture ;
- les terrains du Crétacé supérieur sont caractérisés par des variations latérales de faciès ;
- le passage de la craie aux sables du Perche présente un contraste important en terme de ressources ;
- le Jurassique est d'épaisseur réduite et montre de nombreuses variations verticales de lithologie ;
- le socle du Massif central constitué de roches magmatiques, partiellement recouvert par des édifices volcaniques (Puy de Dôme...) et affecté par des fossés d'effondrement (Limagnes) dont le remplissage sédimentaire, indépendant du Bassin de Paris, peut atteindre 2 500 m.

Seul le schéma « intensément plissé » ne concerne pas le bassin Loire-Bretagne.

Au niveau national NV1, l'ensemble Tertiaire-Crétacé supérieur peut être divisé en six entités qui sont du haut vers la bas :

- le grand domaine de Sologne ;
- le grand système Oligocène ;
- le grand domaine Sannoisien-Ludien ;
- le grand système Éocène ;
- le grand domaine Sparnacien ;
- le grand système Crétacé supérieur.

b) Individualisation des formations alluviales

Le transect nord-sud sélectionné à l'est du bassin Loire-Bretagne recoupe les alluvions de la Loire. Ce fleuve n'offre pas une géométrie de terrasses emboîtées : les alluvions anciennes sont déconnectées des alluvions modernes et sont la plupart du temps découpées en fonction de leur situation topographique élevée. Seules les alluvions modernes qui présentent une ressource notable ont été prises en compte.

c) Découpage de la partie sédimentaire

• Découpage « vertical »

La segmentation hydro-stratigraphique conduit au tableau ci-dessous, construit sur la base des cartes géologiques de la partie nord du transect Est (feuilles 400, 432, 463). Au niveau local (NV3) ont été différenciées 14 unités aquifères dont 7 aquifères, 3 semi-perméables et 4 imperméables.

National NV1	Régional NV2		Local NV3
			Unités
GS Grand Système	S Système	UA	Unité Aquifère
GD Grand Domaine	D Domaine	US	Unité Semi-perméable
		UI	Unité imperméable
GD de Sologne	GD	US	Sables de Sologne
		US	Marnes et sables de l'Orléanais
		UI	Marnes de Blâmont
		UA	Calcaires de Pithiviers
GS Oligocène	S Calcaires de Beauce	US	Molasses du Gâtinais
		UA	Calcaires d'Étampes
		UA	Sables de Fontainebleau
	S Sables de Fontainebleau	UA	Calcaires de Brie
		UI	Marnes Vertes
GD Sannoisien - Ludien	GD	UI	Marnes Vertes
GS Éocène	S Éocène	UA	Calcaires de Champigny - Château Landon
GD Sparnacien	GD	UI	Argiles du Sparnacien
GS Crétacé supérieur	S	UA	Craie séno-turonienne Tuffeau de Touraine
	D	UI	Marnes à ostracées du ligérien
	S	UA	Craie du Cénomani

Par âge croissant, les entités sont les suivantes :

- l'ensemble supérieur constitué d'unités imperméables et semi-perméables correspond au grand domaine de Sologne représenté à l'échelle nationale et régionale ;
- les systèmes des Calcaires de Beauce et des Sables de Fontainebleau constituent le grand système Oligocène. Il montre la même superposition théorique Seine-Normandie, exception faite des Molasses d'Étrechy, absentes en Loire-Bretagne. En Loire-Bretagne, certaines unités se biseautent vers le sud : Sables de Fontainebleau, Molasses du Gâtinais, laissant place à un ensemble calcaire continu oligocène ;
- le grand domaine Sannoisien-Ludien est réduit sur ce secteur à l'unité imperméable des marnes vertes qui disparaissent vers le sud ;
- le grand système Éocène est réduit à l'unité des Calcaires de Champigny ou Château-Landon.

Remarque

La disparition des marnes vertes met en continuité hydraulique les deux grands systèmes Éocène et Oligocène.

- le grand domaine Sparnacien est continu ;
- le grand système Crétacé supérieur peut être subdivisé en trois entités de niveau 2 :

- une entité supérieure correspondant à un système englobant de nombreuses unités aquifères (craie blanche, tuffeau de Bourré...) ;
- un domaine intermédiaire correspondant aux marnes à ostracées ;
- un système inférieur caractérisé par le passage latéral de faciès de la craie du céno-manien aux Sables du Perche.

- **Tracé de la partie affleurante**

Le tracé des contacts dans le substrat sédimentaire présente les mêmes difficultés que sur le secteur Seine-Normandie due au manque de lisibilité des cartes géologiques au niveau du substratum géologique : les contacts sont souvent masqués par des formations en placage (terrasses anciennes recouvrant la formation de Sologne ou des alluvions). Il est nécessaire de reconstituer par interpolation les contours masqués

- **Découpage « horizontal » du substrat sédimentaire**

Le découpage horizontal prendra en compte et successivement :

- les zones d'affleurement ou les parties libres des unités, quels que soient les niveaux NV1, NV2 ou NV3 (source : carte géologique au 1/50 000) ;
- les interfluves des grands fleuves pour le niveau NV2, les bassins versants souterrains pour le niveau NV3.

- **Découpage des parties karstifiées**

Le transect est peu concerné par le karst qui se développe essentiellement à l'ouest de ce dernier avec des manifestations connues dans les Calcaires de Beauce.

d) Découpage des formations volcaniques

- **NV1 = NV2**

La numérisation des entités reprendra chacun des contacts avec le substratum. Il n'y a pas lieu de distinguer les deux échelles nationales et régionales.

- **Niveau local NV3**

Feuille géologique n° 693 de Clermont-Ferrand au sud du transect : coulées sur paléovallées du socle et épandage sur Limagne. Les contours de l'entité sont les contours lithologiques de la coulée ; les limites du bassin versant qui dépasse les contours de la coulée apparaîtront sur une image scannée.

e) Découpage du karst

Sont remarquables au niveau national NV1 :

- sources karstiques en rive droite de la Loire dans la boucle d'Orléans (La Chapelle, Tavers...) ;
- les pertes de la Loire à Jargeau et la résurgence du Loiret ;

- karst sous la Formation de Sologne ;
- l'attribut « karstique » sera affecté au Calcaire de Beauce avec représentation des aires d'extension (à l'affleurement et sous couverture du Calcaire de Beauce).

Sont remarquables au niveau régional NV2 :

- subdivision par les cours d'eau principaux (Loire et Loiret).

Sont remarquables au niveau local NV3 :

- représentation des systèmes karstiques de détail, selon information disponible.

Annexe 3.3. - Bassin Artois-Picardie

a) Cadre hydrogéologique

Le bassin Artois-Picardie s'inscrit dans trois thèmes :

- le socle du Massif ardennais relayé à l'ouest par des pointements paléozoïques ;
- le socle a été subdivisé en deux unités :
 - une unité au sud de la faille du midi très tectonisée et rattachée au socle (bassin minier et Avesnois) ;
 - une unité au nord, constituée des mêmes terrains mais faiblement discordants sous la couverture mésozoïque (Dinantien de la région Lille-Tournai). De par cette disposition et la nature lithologique préservée des terrains, cette unité est rattachée au sédimentaire ;
- le sédimentaire du nord du bassin de Paris constitué essentiellement par la craie du Crétacé supérieur reposant sur un Crétacé inférieur et un Jurassique réduit. Ce multicouche est masqué au nord par des formations d'âge tertiaire et quaternaire de la plaine des Flandres. Le karst affecte la craie et les formations calcaires de base des terrains houillers (calcaires du Dinantien). Le Jurassique joue un rôle marginal au plan de la ressource en eau ;
- l'alluvial productif de la vallée de la Somme.

Au niveau national NV1, le bassin Artois - Picardie peut être divisé en onze entités qui sont, du haut vers le bas :

- le grand système quaternaire Éocène, affleurant dans la partie nord ;
- le grand domaine Yprésien ;
- le grand système Landénien ;
- le grand système Crétacé supérieur ;
- le grand domaine Albien ;
- le grand système Apto-tithonien ;
- le grand domaine Tithono-kimméridgien ;
- le grand système Kimméridgien ;
- le grand domaine Callovo-oxfordien ;
- le grand système Dogger ;
- le grand domaine Socle.

b) Individualisation des formations alluviales

Sur le transect nord-sud à la limite méridionale du bassin houiller, la carte géologique présente de grands épandages alluviaux (qui figurent même sur la carte géologique au 1/1 000 000). On convient de ne pas les retenir en raison de leur forte argilosité.

En dehors du transect, seules les alluvions de la vallée de la Somme pourraient être retenues.

c) Découpage des formations sédimentaires

• Découpage vertical

Au niveau local ont été différenciées trente sept unités dont dix-sept unités aquifères, seize unités imperméables et quatre unités semi-perméables.

Les entités sont les suivantes :

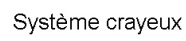
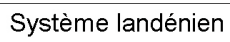
- l'ensemble supérieur (GS quaternaire et Éocène) est subdivisé en deux systèmes sur la base des aires d'extension (large pour le quaternaire et en buttes témoins pour l'Éocène) ;
- le grand domaine yprésien est continu ;
- le grand système landénien est subdivisé en un système supérieur des sables d'Ostricourt et un domaine inférieur des Argiles de Louvil présentant des variations latérales de faciès ;
- par opposition aux autres bassins, le grand système Crétacé supérieur sur Artois-Picardie présente en son sein un domaine constitué par des unités semi-perméables (dièves bleues) et des unités imperméables (dièves vertes). Le domaine isole un système supérieur (Séno-turonien supérieur) d'un système inférieur cénomanien ;
- le grand domaine albien est continu ;
- le système des sables albiens et le système des sables du Tithonien supérieur en continuité hydraulique constituent le grand système apto-tithonien ;
- le grand domaine tithono-kimméridgien contient l'unité aquifère des grès de la Crèche ;
- le grand système kimméridgien est constitué de deux unités aquifères ;
- le grand domaine callovo-oxfordien contient l'unité aquifère locale des calcaires des Monts des Boucards ;
- le grand système Dogger est anecdotique (épaisseur réduite à 18 m).

d) Exemple d'applications sur le transect d'Artois-Picardie.

Les figures de la page 80 illustrent quelques résultats de la méthodologie du découpage appliquée sur le transect Artois-Picardie :

- zones affleurantes et sous couverture ;
- natures des limites (limites d'affluence de captif à libre, ligne d'émergence, limites administratives) ;
- informations complémentaires sous forme de scan (carte piézométrique).

National NV1	Régional NV2	Local NV3		
GS Grand Système GD Grand Domaine	S Système D Domaine	UA US UI	Unités Unité Aquifère Unité Semi-perméable Unité imperméable	
GS Quaternaire et Eocène	S Quaternaire S Eocène	UA UA UA	Dépôts marins et éoliens côtiers (sables « Pissards », dunes...) de la plaine des Flandres et des Bas-Champs du littoral de la Manche Calcaire des Monts des Flandres Sable des Monts des Flandres	10 à 30 m 12 m 33 m
GD Yprésien ou Sparnacien	GD	UI	Argiles des Flandres, de Roubaix, d'Orchies...	> 100 m
GS Landenien	S Sables d'Ostricourt D Argiles de Louvil	UA UI	Sables d'Ostricourt (marins) et de Grandglise (continentaux) Argile de Louvil et de Clary, Tuffeaux de St-Omer et de Valenciennes	15 m 25 m
GS Crétacé supérieur	S Séno-Turonien supérieur D Turonien moyen et inférieur S Cénomanién	UA UA US UI US	Craies blanches, pauvres en silex, avec lits phosphatés, vers le sommet Craies grises plus riches en silex, avec bancs indurés (le Tun et la Meule), au sommet Craies marneuses et marnes de teinte bleue (« Dièves bleues ») Marnes plastiques vertes (« Dièves vertes ») Craies marneuses bleues et grises et marnes (Dièves blanches) avec, à la base, le « Tourtia » (sables grossiers glauconieux)	qq m à plus de 100 m 35 m 25 à 30 m qq m à 50 m
GD Albien	GD	UI	Argile du Gault	14m
GS Apto-tithonien	S Albien S Tithonien supérieur	UA US UA	Sables verts Sables, grès et argiles d'origine continentale, en « poches » dans les terrains sous-jacents Grès, calcaires, sables et argiles de la « Pointe aux Oies »	18 m très variable 15 m
GD Tithono-kimmeridgien	GD	UI US UI	Assise de Croï, Argiles de Wimereux et de la Crèche Grès de la « Crèche » (sables et calcaires gréseux) Argile de Châtillon	30 m 20 m 25 m
GS Kimmeridgien	S	UA UA	Grès de Châtillon, Calcaire du Moulin Vibert, Grès de Connincthun, Argile du Moulin Vibert, Calcaire de Brecquerecque, Caillasses d'Hesdigneul, Oolithe d'Hesdin-l'Abbé, Grès de Brunembert	35 m 35 m
GD Callovo - Oxfordien	GD	UI UA UI UI UI	Argiles du Mont des Boucards Calcaire du Mont des Boucards Argiles de Selles et Calcaire d'Houllefort Marnes et Argiles du Coquillot Argiles de Montaubert et Marnes de Belle	15 m 12 m 30 m 20 m 30 à 35 m
GS Dogger	S	UA	Oolithe de Marquise, Calcaire de Rinxent	18 m
Socle	D Houiller	UI	Houiller	
	S Dinantien	UA	Shistes, phtanites, calcaires et dolomies	240 m
		UA	Dolomies, calcaires, phtanites, schistes	80 m
	D Struno-Famennien	UI	Schistes, psammites, grès calcaireux et calcaires	25 m
		UI	Schistes, grès et calcaires gréseux	300 m
		UI	Grès de Watissart, schistes verts	150 m
	S Dévonien	UA	Schistes verts à nodules calcaires et intercalations de calcaires récifaux	500 m
		UA	Calcschistes et calcaires récifaux	380 à 400 m
		UA	Schistes et calcaires récifaux	500 m
	D Dévonien inférieur	UI	Grès calcaireux et argileux (Grauwacke d'Hierges), schistes, grès quartzites	1100 m
		UI	Grès calcaireux et argileux, schistes, grès quartzites (Grès d'Anor)	1000 m



Annexe 3.4. - Bassin Rhin-Meuse

a) Cadrage hydrogéologique

Le bassin Rhin-Meuse s'inscrit dans trois thèmes :

- le sédimentaire de la bordure est du Bassin parisien, avec des formations dont les âges s'échelonnent entre le Permien et le Jurassique (le Carbonifère est présent en sub-surface). La karstification affecte des formations carbonatées d'âge essentiellement jurassique ;
- le socle du Massif vosgien (magmatique et métamorphique) et du Massif ardennais (terrains anciens intensément plissés et pénéplanés) ;
- l'alluvial de la plaine du Rhin et des grands cours d'eau (Moselle, Meuse...).

L'exercice de découpage a été mené sur deux transects parallèles, l'un recoupant la partie orientale du Bassin parisien (transect est-ouest du Jurassique au Trias/Permien) et l'autre recoupant le Massif vosgien et le Fossé rhénan.

Au niveau national, sur le bassin Rhin-Meuse, l'ensemble des formations géologiques peut se diviser en grandes entités. Les chiffres entre parenthèses est l'identifiant de l'entité selon les normes de codification SANDRE. Elles sont du sommet à la base :

- le grand système tithonien (60) ;
- le grand domaine et le grand système kimméridgien (59) ;
- le grand système oxfordien (58) ;
- le grand domaine callovien (57) ;
- le grand système Dogger (56) ;
- le grand domaine Lias (55) ;
- le grand système Luxembourg Sinémurien Hettangien (54) ;
- le grand domaine Keuper (53) ;
- le grand système Muschelkalk (52) ;
- le grand domaine Muschelkalk (51) ;
- le grand système des grès du Trias inférieur (50).

b) Identification des formations alluviales

Conformément à la règle générale, les alluvions seront prises en compte dans une couche spécifique et considérées sous les trois échelles NV1, NV2 et NV3. Le système alluvial Moselle figurera au niveau régional tandis que les sous-systèmes Moselle et Meurthe figureront au niveau régional. Au niveau local, on propose de distinguer les alluvions modernes des alluvions anciennes afin de souligner leurs caractéristiques aquifères différentes. En fonction de l'échelle de l'entité (système, domaine, unité aquifère, unité imperméable...), les échanges nappe-rivière pourront être identifiés.

Des contextes géologiques un peu particuliers, n'ayant pas été déjà catalogués, ont été traités de la manière suivante :

- dans les Vosges, les dépôts fluvio-glaciaires sortent du domaine purement alluvial ; ils seront considérés comme appartenant au système socle, comme une unité aquifère ;
- les alluvions des vallées vosgiennes, côté alsacien, seront également considérées comme une unité aquifère du socle, car elles fonctionnent plutôt comme un drain de l'encaissant. Les zones alluvionnaires les plus productives seront visualisées au niveau NV2, les moins productives car composées de matériel fluvio-glaciaire peu perméable apparaîtront au niveau local NV3. Côté lorrain, la continuité hydraulique des alluvions est plus grande, elles seront considérées normalement comme relevant du domaine alluvial (hors fluvio-glaciaire) ;
- la délimitation de l'alluvial, au niveau local, pourra se faire en Lorraine sur la base de la carte des alluvions dont l'épaisseur est supérieure à 2 m. Cette carte a été établie par le CETE, dans le cadre du schéma des carrières à l'échelle du 1/50 000. C'est un critère normalisé, représentatif de la ressource en eau, et bien adapté au découpage de l'alluvial ;
- les champs de fractures de bordure du Fossé rhénan et les terrains oligocènes bordant les alluvions plio-quadernaires seront regroupés au niveau 1 pour une meilleure lisibilité et distingués au niveau 2. Les regroupements en vigueur en Allemagne sont à prendre en compte.

c) Identification des formations sédimentaires

Au niveau local NV3, 78 unités ont été identifiées, se décomposant en 52 unités aquifères, 21 unités imperméables et 5 unités semi-perméables. L'identification des zones karstiques n'a pas fait l'objet d'un traitement particulier sur ce secteur. Certaines zones sont bien connues pour l'extension de leur réseau karstique et ont fait l'objet d'études approfondies (le karst de la vallée de la Saulx dans les calcaires du Barrois...).

Un tableau multiéchelle a été dressé (tabl. 1). Les variations latérales de faciès que l'on observe dans le bassin Rhin-Meuse sont représentées dans le tableau par le doublement des colonnes. C'est le cas du Dogger, dans lequel il y a passage d'un faciès marneux au niveau de la Meurthe-et-Moselle et des Vosges, à un faciès calcaire au niveau du nord-ouest du bassin avec la dalle d'Étain. Suivant les secteurs géographiques, on a ainsi des définitions opposées des entités du point de vue de leurs caractéristiques hydrogéologiques. En Meurthe-et-Moselle et dans les Vosges, on distingue un domaine Bathonien (56D) et un système Bajocien supérieur (56B), et inversement, dans la partie nord-ouest du bassin, on distingue un système Bathonien (56E) et un domaine Bajocien supérieur (56C). Au Lias, le grand système Luxembourg Sinémurien Hettangien (54), pour le secteur des Ardennes, est défini en parallèle du grand domaine Lias (55).

National NV1	Régional NV2	Local NV3	Localisation
GS Tithonien du Bassin parisien (60)	S Sables verts de l'Albien (60B)	UA Sables verts	Est de l'Argonne
	S Calcaires du Tithonien (60A)	UA Calcaires cariés UA Oolithe de Bure UA Calcaires argileux à débris	Est de l'Argonne et du Barrois
GD Kimméridgien (59)	D Kimméridgien (59B)	UI Marnes supérieures à Exogyres UA Calcaires blancs supérieurs UI Marnes moyennes à Exogyres UA Calcaires blancs inférieurs UI Marnes inférieures à Exogyres	Est de l'Argonne et du Barrois
	S Séquanien, Rauracien (59A)	UA Calcaires rocaillieux à ptéroclères UA Calcaires à astartes UA Oolithe de Lamotte UA Calcaires sublithographiques US Argiles à <i>Ostrea deltoidea</i>	Est de l'Argonne et du Barrois
GS Oxfordien (58)	S Argovien (58B)	UA Calcaires sublithographiques, oolithiques et récifaux (Pierre d'Euville-Lerouville) US Marnes blanches des Eparges	Ouest du Bassin
	S Oxfordien (58A)	UA Oolithes ferrugineuses UA Calcaires d'Ornes et calcaires en plaquettes UA Terrains à chailles	Ouest du Bassin
GD Callovien (57)		UI Argiles de la Woëvre	Ouest du Bassin
GS Dogger (56)	D Bathonien (56D)	US Marnes et caillasses à Rhynchonelles UA Caillasses à <i>Anabacia</i>	Meurthe-et-Moselle, Vosges
	S Bajocien supérieur (56B)	UA Oolithe miliaire supérieure UA Oolithe à <i>Clypeus ploti</i> UA Oolithe miliaire inférieure (Bâlin) US Marnes de Longwy	Meurthe-et-Moselle, Vosges
	S Dogger principal (56A)	UA polypiers supérieurs UA Oolithe cannabine UA Polypiers inférieurs UA Calcaires oolithiques et calcaires à entroques (Calcaires de Haut-Pont) UA Calcaires sableux (Calcaires d'Ottange) UI Marnes micacées (Marnes de Charennes) UA Minerai de fer (Minette) et stériles	Bassin occidental
GD Lias (55)		UA Grèssupraliasique UI Argiles de Champigneulle et marnes micacées UI Schistes carton UA grès médio-liasique UI Argiles à amalthées UA Calcaires ocreux US Marnes et Calcaires à Bélemnites US Marnes etargilites à Ammonites UA Calcaires à Gryphées	Lorraine occidentale
GD Keuper (53)		UI Argiles de Levallois UA Grès du Rhétien (infraliasique) UI Argiles bariolées dolomitiques UI Argiles de Chanville UA Dolomie de Beaumont UI Argiles bariolées intermédiaires UA Grès à Roseaux UI Marnes irisées inférieures	Lorraine centrale
GS Muschelkalk (52)	S Lettenkohle (52B)	UA Dolomie limite UI Argiles bariolées UA Dolomie inférieure	Lorraine centrale
	S Muschelkalk (52A)	UA Calcaire à Térébratules UA Calcaire à acératites UA Calcaire à entroques	Lorraine centrale
GD Muschelkalk (51)		UI Couches blanches UI Couches grises UI Couches rouges UA Dolomie à <i>Myophoriaorbicularis</i> US Wellenkalk et Wellmergel UI Marnes à <i>Myacites</i>	Lorraine centrale
GS Grès du Trias inférieur (50)	S Buntsandstein supérieur (50C)	UA Grès coquiller UA Grès à <i>Volztia</i> : Grès argileux UA Grès à <i>Volztia</i> : Grès à meules UA Couches intermédiaires	Lorraine centrale et orientale
	S Buntsandstein inférieur (50B)	UA Grès vosgien UA conglomérat inférieur UA Couches de Senones	Lorraine centrale et orientale
	S Permien supérieur (50A)	UA Assises de Kreuznach, de Wadern et de Sötern	Lorraine centrale et orientale

Régional NV2	Local NV3	Localisation
S Bathonien (56E)	UA Dalle d'Etain UA Calcaires blancs à <i>Cardium pes bovis</i> (Pierre d'Aubenton) UA Caillasses à <i>Anabacia</i> UA Oolithe miliaire US Marnes à Térébratules	Nord-ouest du Bassin R hin-Meuse
D Bajocien supérieur (56C)	UA Oolithe de Doncourt UI Marnes de Gravelotte UA Oolithe de Jaumont UI ou US Marnes à <i>Ostrea acuminata</i> US Marnes de Longwy	Nord-ouest du Bassin R hin-Meuse

National NV1	Régional NV2	Local NV3	Localisation
GS Luxembourg Sinémurien Hettangien (54)		UA Grès d'Hettange-Luxembourg UA Calcaire à Gryphées	Ardennes

Tabl. 1 - Tableau multiéchelle du transect nord du bassin Rhin-Meuse.

Le découpage du transect nord du bassin Rhin-Meuse au niveau national NV1 pour les entités affleurantes, suivant la définition des entités hydrogéologiques du tableau multiéchelle, est présenté sur la figure 1. Les limites entre les entités y figurent également. À titre d'exemple, la partie affleurante du grand système des grès du Trias inférieur (50) est représentée dans son intégralité. Le découpage des systèmes selon des critères géographiques ou régionaux, afin d'obtenir des systèmes de dimensions raisonnables, est conservé dans la version V2 du référentiel hydrogéologique. Les interfluviaux permettront ainsi de définir davantage d'entités régionales que celles présentées dans le tableau multiéchelle pour le grand système des grès du Trias inférieur (50).

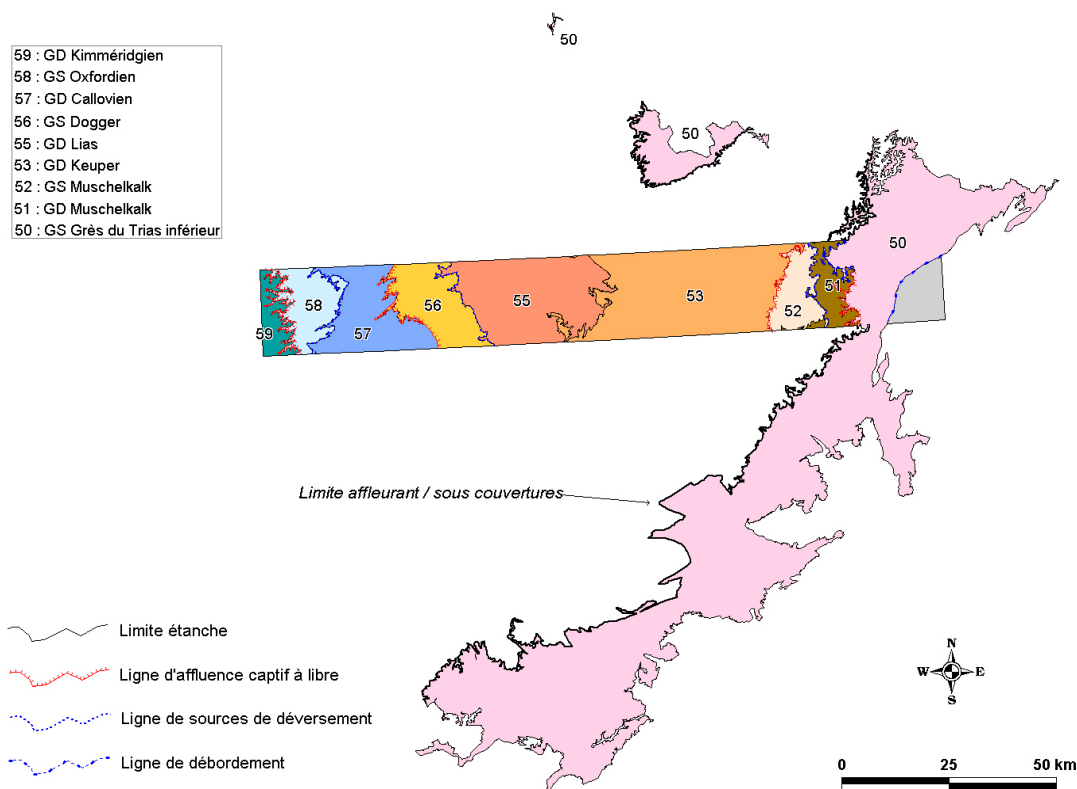


Fig. 1 - Entités affleurantes au niveau national NV1 sur le transect Nord, avec la totalité des formations affleurantes des grès du Trias inférieur (50) comme exemple.

Sous couvertures, pour des raisons de lisibilité sont présentés uniquement les grands systèmes du Muschelkalk (52) et des grès du Trias inférieur (50), pour le découpage du transect nord du bassin Rhin-Meuse au niveau national NV1 (fig. 2). Les limites vers l'ouest des deux grands systèmes sous couvertures ont été déterminées à partir de l'atlas de la Synthèse géologique du bassin de Paris (Mégnyen *et al.*, 1980). La couche des grès du Trias inférieur a été prise comme exemple pour la création de la fiche d'identité.

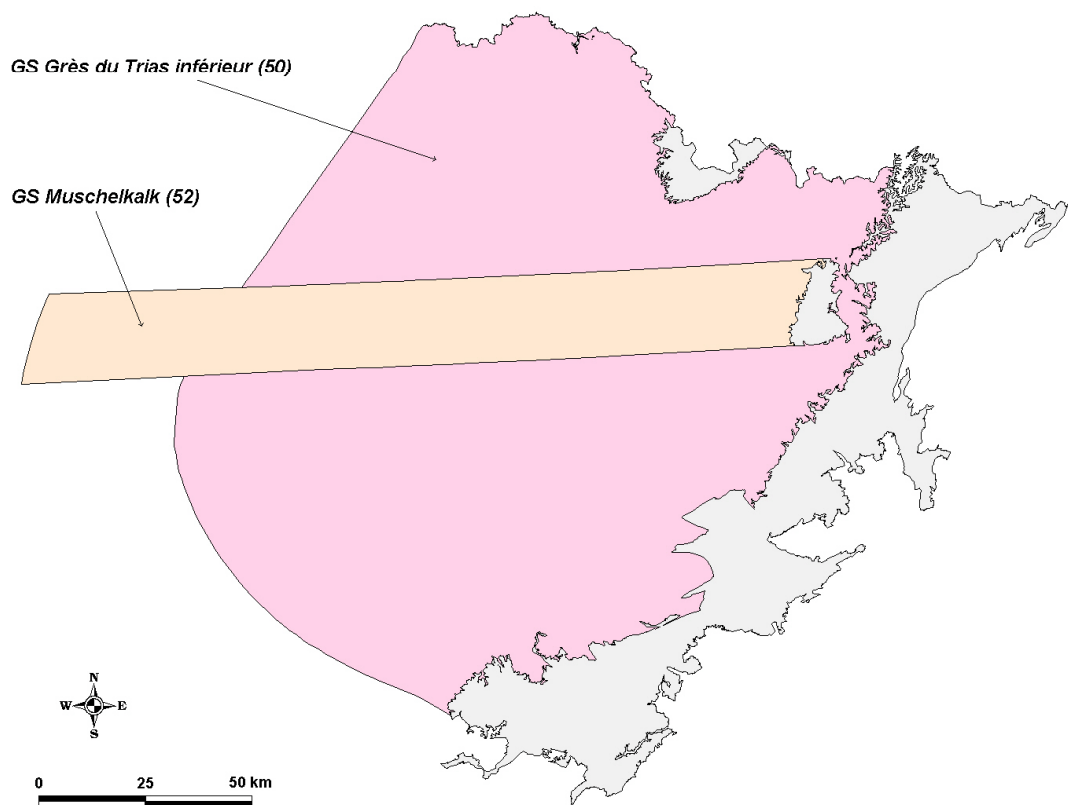


Fig. 2 - Exemple d'entités sous couvertures au niveau national NV1 sur le transect Nord, avec la totalité du grand système sous couvertures des grès du Trias inférieur (50). Les parties affleurantes des entités sont représentées en gris.

Des informations complémentaires comme des cartes piézométriques des entités hydrogéologiques pourront être prises en compte en tant qu'attributs. Nous suggérons que la qualité des eaux puissent l'être également, comme par exemple les limites de salinité des eaux pour la consommation humaine (fig. 3).

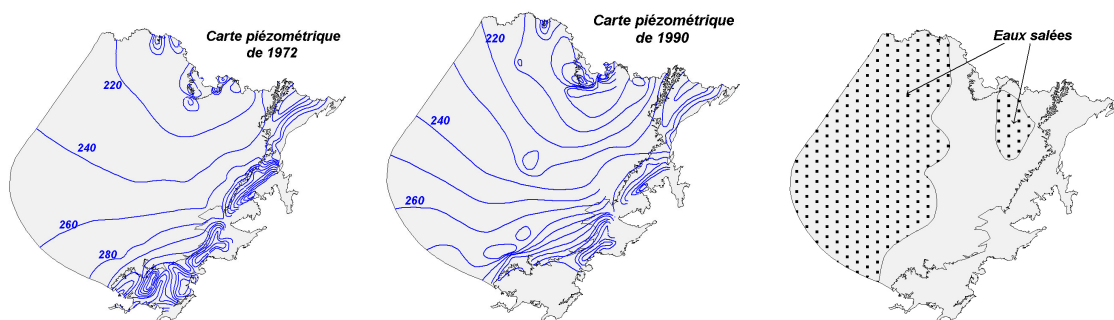


Fig. 3 - Exemple d'attributs pour le grand système des grès du Trias inférieur (50) : cartes piézométriques à différentes dates et limites de salinité des eaux.

Afin de visualiser la structure des terrains du bassin Rhin-Meuse au niveau national NV1, nous avons repris sous Corel Draw la coupe hydrogéologique schématisée de Ramon *et al.* (1992), en utilisant les couleurs des entités qui sont utilisées sur la carte de présentation des entités affleurantes au niveau NV1. Cette coupe est présentée sur la figure 4.

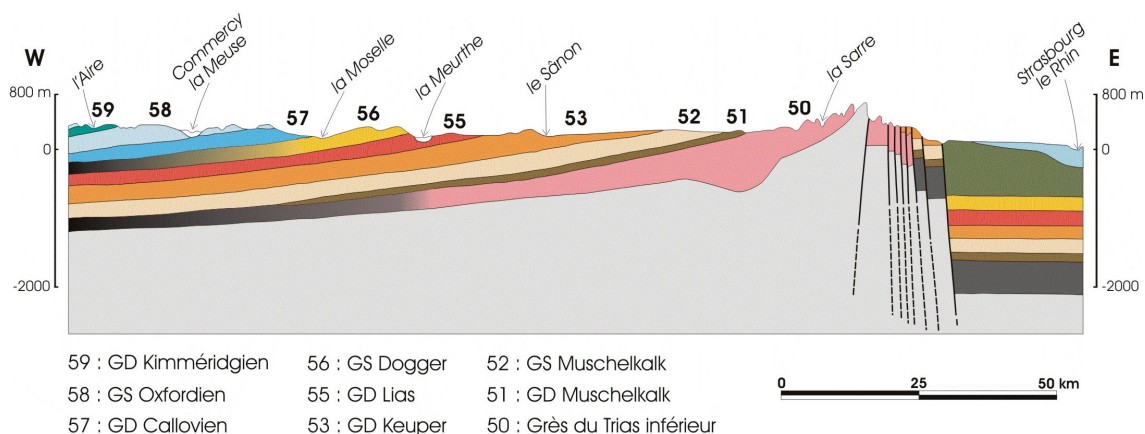


Fig. 4 - Coupe est-ouest des terrains sur le bassin Rhin-Meuse (d'après Ramon et al., 1992).

Lors de la réalisation de la phase de production, le découpage pourra être revu sur certains points particuliers, en fonction des informations très précises (extension et importance d'une unité) qui pourront être extraites des feuilles géologiques au 1/50 000. Par exemple, sur la feuille de Clermont-en-Argonne (n° 161), dans les terrains tithoniens on distingue, sous les calcaires à débris, les « Pierres châlaines » et les calcaires cryptocristallins. Dans la notice explicative, il est mentionné qu'au niveau des argiles à Gravesia (Pierre châlaine) et au contact des argiles kimméridgiennes, sont localisées les émergences de la nappe des calcaires tithoniens. Par conséquent, la prise en compte de ces faciès au niveau local peut s'avérer intéressante dans l'optique d'apporter une information précise aux foreurs ou bureaux d'études qui réalisent des forages d'eau (notamment, afin de prévoir l'équipement nécessaire à la bonne réalisation de l'ouvrage).

d) Découpage vertical des ensembles sédimentaires

• Documents de référence

Les documents disponibles pour cet exercice sont :

- BD RHF V1 ;
- la carte géologique (scannée) au 1/50 000. Les principaux contours géologiques sont déjà identifiés dans BD-RHF-V1 et pourront être réutilisés pour le tracé des zones d'affleurement.

• Tracé de la partie sous couverture

Les documents disponibles sont :

Cartes d'isovaleur. Les pendages des formations géologiques sont élevés dans la partie est du bassin de Paris. La densité de forages décroît très rapidement. Les cartes d'isovaleur n'ont une signification qu'à quelques kilomètres de l'affleurement. L'aire d'extension des entités de NV1 et des NV2 est connue.

- **Découpage des formations de socle**

Le thème socle est représenté par l'aire d'affleurement des Vosges cristallines. La BD Carthage est plus détaillée en Rhin-Meuse que dans les autres régions. En conséquence, le découpage unitaire ne sera utilisé qu'au niveau local et le découpage au niveau NV2 sera réalisé au niveau supérieur de la BD Carthage pour rester homogène avec les propositions émises pour le socle en Bretagne.

- **Formations volcaniques**

Le thème volcanisme est anecdotique (pointements basaltiques au travers de la couverture sédimentaire, volcanisme du Permien du Nideck).

Annexe 3.5. - Bassin Adour-Garonne

a) Cadre hydrogéologique

Le bassin Adour-Garonne s'inscrit dans chacun des cinq thèmes :

- les formations alluviales (Garonne, Adour, Dordogne et leurs affluents) ;
- un ensemble sédimentaire multicouche (Bassin aquitain) avec des terrains affleurants dont les âges s'échelonnent entre le Trias et le Quaternaire. Ce multicouche se caractérise par une complexité structurale croissante en s'approchant des Pyrénées. La karstification affecte les formations carbonatées du Jurassique moyen, du Jurassique supérieur, du Crétacé et du Tertiaire ;
- le volcanisme (terminaison du Cantal et les Coirons) ;
- le socle du sud-ouest du Massif central ;
- les formations intensément plissées de la chaîne des Pyrénées.

L'exercice de découpage a été initié sur le transect est-ouest, depuis le socle du Massif central jusqu'au Tertiaire de Dordogne.

Au niveau national NV1, les découpages sur le transect sont les suivants :

- le socle : découpage des grands bassins versants ;
- le Trias-Jurassique inférieur :
 - le grand système du Trias principalement gréseux,
 - le grand domaine marneux de l'Hettangien inférieur,
 - le grand système Hettangien supérieur et Sinémurien qui est un système aquifère multicouche calcaréo-dolomitique,
 - le grand domaine des marnes toarciennes et du Domérien ;
- le Jurassique moyen et supérieur ;
- système aquifère de l'Aalénien au Kimméridgien inférieur (karst).

b) Le tableau multi-échelle

L'analyse des systèmes et des domaines pour le Bassin aquitain (zone centrale : Gironde, Nord des Landes, Est Dordogne et Lot-et-Garonne) conduit au tableau synthétique suivant. Chaque ligne pourrait correspondre à une couche.

NV1 National	NV2 Régional	NV3 Local (évolutif)
Alluvions de la Gironde, de la Garonne, de la Dordogne, de l'Isle ❶	Dropt amont, Leyre, Ciron...	Les Jalles, Le Saucats...
Systèmes et domaines virtuels regroupant : Hautes terrasses (Riss, Mindel, Donau...), Placages des sables des Landes, Buttes témoins tertiaires (Double, Landais, Blayais).	Hautes terrasses (Riss, Mindel, Donau...) Placages des sables des Landes Buttes témoins tertiaires (Double, Landais, Blayais)	Unité aquifère dans les buttes témoins (exemple : calcaires de Castillon) ou dans les terrasses
Mio-Plio-Quaternaire Landais	Dune Formations de Belin, d'Onesse, d'Arengeosse Sables Fauves Glaïses Bigarrées (sous-domaine)	Unités aquifères sablo-graveleuses
Miocène inférieur et moyen	Calcaires Serravalliens Sables Verts Faluns et calcaires Burdigaliens et Aquitaniens	Faluns de Saucats, de St-Avit, de Salles, de Soustons... Calcaires Blancs et Gris de l'Agenais...
Marnes du Chattien (domaine)		
Calcaires à Astéries (Stampien)	Parties affleurantes Partie sous recouvrement Découpage par crêtes piézométriques	Membres A, B et C Réseaux karstiques (traçage)
Marnes du Sannoisien et argiles de l'Eocène supérieur (Argiles à Paléothérium et Molasse du Fronsadais)		
Eocène nord-aquitain	Sables Fluviaux du Libournais Sables du Périgord Calcaires de Blaye Calcaires de l'Eocène Moyen Sables inférieurs sables de l'Eocène inférieur... Découpage par crêtes piézométriques	
Crétacé supérieur : Maastrichtien-Campanien	Parties affleurantes et partie sous-recouvrement Découpage par crêtes piézométriques	Formation de Couze...
Marnes du Santono-Campanien (domaine)		
Crétacé supérieur : Santono-Turonien	Santono-Coniacien Turonien	Unités aquifères (barres de calcaires +/- sableux et bioclastiques)
Marne du Turonien inférieur		
Crétacé supérieur : Cénomaniens	Calcaires Sables	
Marnes du Jurassique supérieur		
Système karstique du Jurassique moyen et supérieur	Oxfordien-Callovien Bajocien Bathonien	Réseaux karstiques (traçage)
Marnes du Toarcien (et aalénien)		
Infra-Toarcien		

- ❶ à noter que ces systèmes alluviaux sont formés schématiquement d'une partie superficielle "flandrienne" imperméable (argile, tourbe) ou semi-perméable (limons) qui met la nappe de la terrasse "sous-flandrienne" (sable, graviers, galets) en charge.

Ce tableau est global au niveau du Bassin aquitain. En revanche, au droit de l'Entre-Deux-Mers par exemple, la synthèse hydrogéologique conduit au tableau multi-échelle suivant :

National NV1	Régional NV2	Local NV3		
			Unités	
GS Grand Système	S Système	UA	Unité Aquifère	
GD Grand Domaine	D Domaine	US	Unité Semi-perméable	
		UI	Unité imperméable	
GS Hautes terrasses Quaternaire	S Terrasse Fu	UA	Sables, graviers et galets dans matrice argileuse	5-10 m
GS Oligocène	S Calcaires à Astéries	UA	Membres C	10 m
		UA	Membre B	10 m
		UA	Membre A	10 m
GD Molasse Tertiaire	S Marnes Sannoisiennes	UI	Marnes	5 m
	Molasse du Fronsadais	US	Marnes +/- sableuses	
	Argile à Paléothérium	UI	Argile	
GS Eocène	S Sables Fluviaux du Libournais	UA	Sables grossiers	
	D Argiles +/- sableuses	US	Argile, sables, marnes	
	S Sables et calcaires de l'Eocène moyen	UA	Sables et calcaires +/- marneux	
	D Marnes	US	Marnes	
	S Eocène inférieur	UA	Barres Sables +/- grossiers	
	D Argile, lignite	UI	Argile	Discontin
GS Campano-Maastrichtien	S calcaires Campano-maastrichtien	UA	Plusieurs termes calcaires	
GD Marnes Campano-Santonienne	D des marnes du Santonien au Campanien moyen	UI	Différents membres calcaires marneux et marnes	Plusieurs centaines de m
GS de la base du Crétacé supérieur	S du turono-santonien	UA	Calcaires du Coniacien-Santonien inf.	
		UA	Calcaires du Turonien	
	D Marnes du Turonien inf. - Cénomani	UI	Marnes	
	S Calcaires du Cénomani	UA	Calcaires et marnes	
GS Portlandien	S Portlandien	UA	Calcaires discontinus	
GD Marnes Kimméridgien et Oxfordien	D Marnes du Kim + Oxfordien	US	Marnes et calcaires marneux	
GS du Jurassique moyen	S Oxfordien-Callovien	UA	Calcaires +/- marneux	
	S Bajocien-Bathonien	UA	Calcaires	
GD Toarcien	D Marnes toarciennes	UI	Marnes et argiles du Toarcien(-Aalénien)	

c) Données de référence

Les contours numérisés des entités de BD RHF V1 et différents SIG (Agence et BRGM) ont permis de réaliser un premier essai de découpage en trois niveaux : NV1, NV2 et NV3. Faute de certains contours numérisés, certains niveaux lithologiques n'ont pas été représentés.

d) Identification des formations alluviales

La présence d'alluvions sur la carte au 1/1 000 000 n'est pas apparue comme un critère suffisant pour retenir les alluvions au niveau NV1. Les grands aquifères

alluviaux du type Garonne sont des aquifères composites bien connus tant sur le plan de la qualité des réservoirs que sur le plan quantitatif pour la ressource et peuvent faire l'objet d'un découpage fiable.

e) Découpage des ensembles sédimentaires

Un log chrono-stratigraphique et lithologique des terrains du Jurassique moyen au Tortonien (base de la molasse) a été extrait de la carte géologique de Saint-Gaudens. Il permet de situer les entités hydrogéologiques de la version V1 en fonction de leurs différentes séquences sédimentaires. Le tableau multi-échelles reste à préciser.

• Tracé de la partie affleurante

Les couches sédimentaires de bordure du bassin peuvent être découpées différemment selon qu'on les attribue au thème « multicouche » ou au thème « intensément plissé ». Les terrains crétacés et éocènes des Petites Pyrénées appartiennent à cette structure et affleurent, mais plongent à l'ouest sous la molasse, où les aquifères qu'ils contiennent sont alors captifs. On considérera le front de charriage nord-pyrénéen comme la limite entre système multicouche et système intensément plissé.

Sous la molasse, les nappes captives suivront une logique « multi-couche et captif ». À l'affleurement, ces mêmes terrains sont en continuité hydraulique et contiennent des aquifères libres.

Le domaine « intensément plissé » pyrénéen ne peut être traité en faisant abstraction de la relation hydraulique existant avec le domaine sédimentaire qui le borde. Elle ne peut donc se baser uniquement sur des critères structuraux.

• Tracé de la pare captive ou sous couverture

Le Bassin aquitain a fait l'objet de nombreuses modélisations et SIG traitant les principaux aquifères. On se référera aux cartes de subsurface issues de ces modèles et SIG.

f) Découpage du substrat socle

Le découpage du socle sera mené sur les trois niveaux de la manière suivante :

- niveau NV1 : les grands bassins versants seront extraits de la BD Carthage : Corrèze, Vézère, Dordogne, Lot et Tarn ;
- niveau NV2 : les grands bassins versants seront subdivisés sur la base de notions de productivité. Le débit d'étiage des cours d'eau est le critère le plus significatif. Une cohérence sera recherchée en reprenant la méthodologie qui sera appliquée en premier lieu en Bretagne ;
- niveau NV3 : les critères géologiques seront pris en compte pour le découpage au NV3 : granite et gneiss sur lesquels se développent des arènes aquifères, micaschistes sur lesquels se développent des altérites argileuses peu perméables. L'épaisseur des altérites peut être également un critère de découpage si on en a la connaissance.

Les bassins stéphaniens (grabbens) seront individualisés comme système à part à l'image des buttes témoins par les ensembles sédimentaires.

g) Découpage des ensembles intensément plissés

Le front nord-pyrénéen délimite un ensemble intensément plissé qui sera découpé dès le niveau NV1.

h) Découpage des formations volcaniques

Non traité dans le cadre du test.

i) Exemple d'application sur le transect d'Adour-Garonne

• Principe et particularités du découpage

Le découpage proposé est basé sur l'application des principes de la méthodologie. Des choix correspondant à des particularités rencontrées dans ce transect sont expliquées :

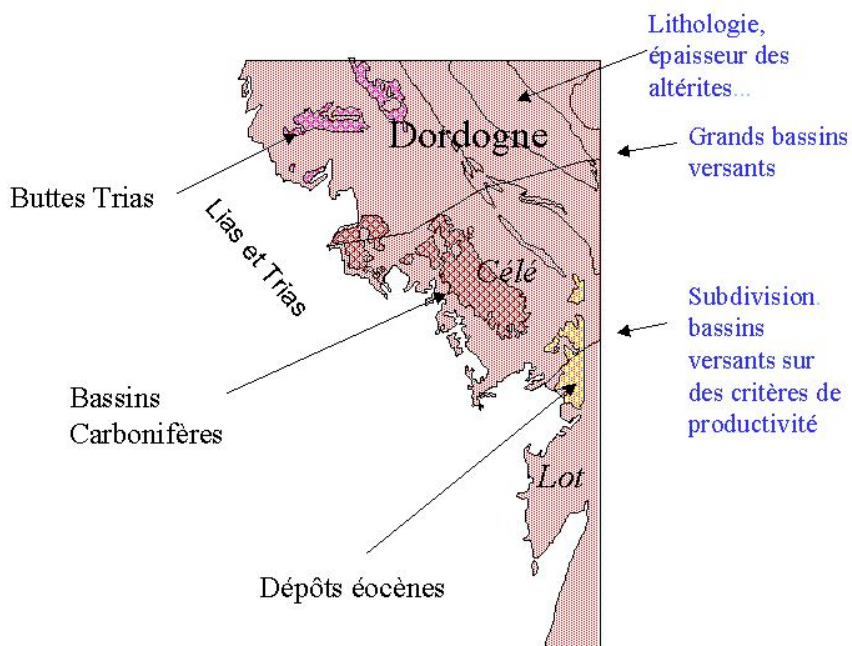
- distinction de limites entre affleurant et sous couverture ;
- les formations alluviales sont distinguées en premier ;
- le découpage proposé sur le transect correspond uniquement à des systèmes **libres**, c'est-à-dire ceux appartenant à des aquifères en affleurement ;
- on a considéré que sous des massifs de dimension restreinte la nappe restait libre. Ces massifs « **perchés** » ont un rôle d'alimentation s'ils sont aquifères, ou de protection s'ils sont marneux ou argileux. Ces systèmes limités en dimension et souvent en perméabilité (exemple des altérites tertiaires) peuvent constituer des réserves abondantes fonctionnant en stock tampon pour les aquifères sous-jacent ;
- les massifs « **perchés** » correspondent :
 - aux bassins carbonifères « effondrés » au sein du socle,
 - aux buttes témoins de Trias ou Jurassique,
 - aux placages tertiaires (formations continentales fluviales ou lacustres),
 - aux altérites tertiaires,
 - aux terrasses anciennes en position haute et déconnectées par rapport à la vallée alluviales ;
- ces massifs « **perchés** » sont découpés selon le thème sédimentaire ; ils sont organisés en niveau avec la possibilité de les regrouper dans un grand système au niveau NV1. Le niveau NV2 correspond aux différents massifs, le niveau 3 permet de distinguer des éventuelles unités hydrogéologiques.

j) Le découpage des entités sur le transect

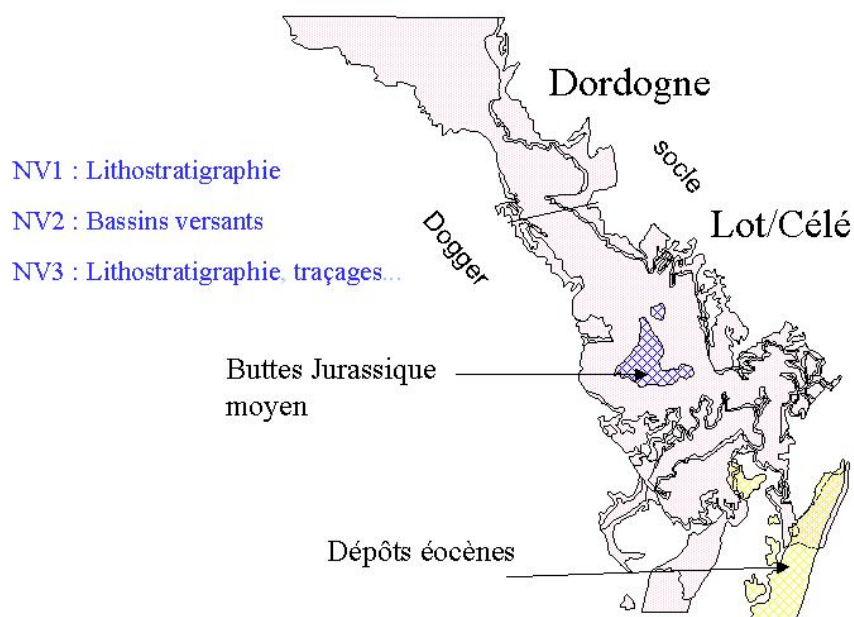
Du socle vers les terrains quaternaires.

- le socle est découpé en domaines de niveau NV1 limités par les grands bassins versants (limite bassin du Lot et de la Dordogne par exemple). Chaque domaine est découpé en bassin versant de second ordre (niveau NV2, ex : bassin du Célé et du Lot) eux-mêmes découpés en fonction de la nature des terrains (granites ou schistes, épaisseur des altérites au niveau NV3) ;
- les bassins carbonifères constituent des domaines hydrogéologiques inclus soit dans des entités de l'assise géologique (socle par exemple), soit regroupés dans un système de niveau NV1 ;
- le Trias est considéré comme un système à caractéristiques très moyennes. Il est découpé par les limites des bassins versants (niveau NV2) puis en couche (niveau NV3) ;
- les marnes de l'Hettangien inférieur forment un domaine constituant un écran assez imperméable ;
- l'Infra-Toarcien est un système aquifère complexe se subdivisant par bassin versant (niveau NV2), puis par couches (niveau NV3, exemple de la dalle calcaire du Domérien) ;
- le Toarcien est un domaine imperméable formant le toit de l'aquifère Infra-Toarcien. Il a un rôle protecteur de tout premier plan.

Découpage du socle

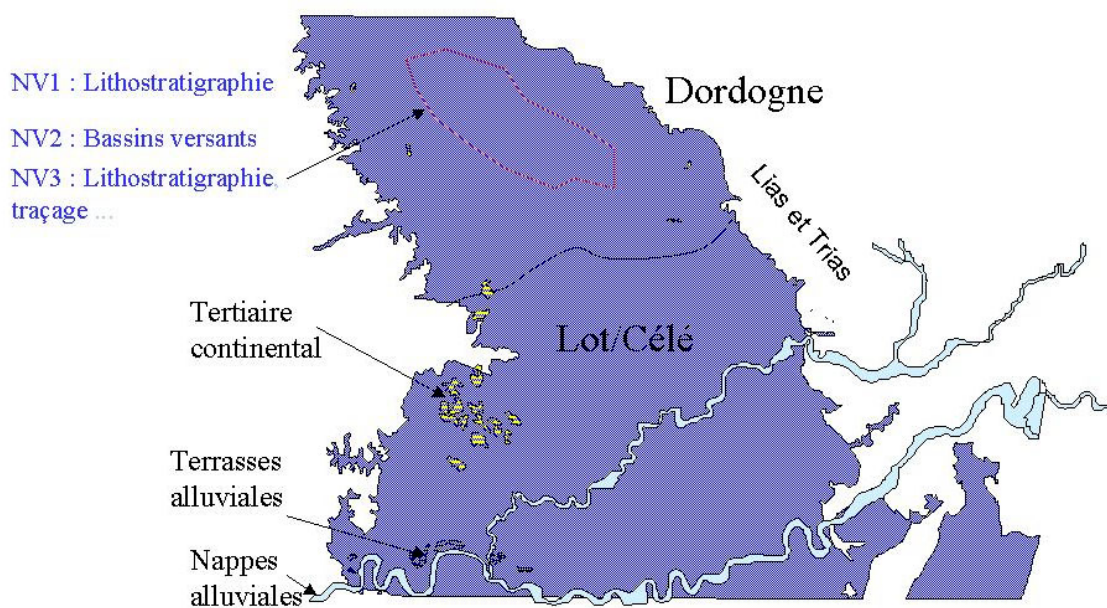


Découpage du Lias et du Trias



Les calcaires du Dogger constituent un système karstique important. Il est subdivisé en sous-système par les limites des bassins versants (niveau NV2), puis en entités hydrogéologiques de base par la délimitation de zones homogènes (fracturation, faciès) comportant des réseaux connus par traçage.

Découpage du Dogger / nappes alluviales



Annexe 3.6. - Bassin Rhône-Méditerranée-Corse

a) Cadre hydrogéologique régional

Le bassin Rhône-Méditerranée-Corse s'inscrit dans chacun des quatre thèmes suivants :

- ensemble intensément plissé : Alpes, Jura et Pyrénées-Orientales ;
- socle : bordure orientale du Massif central ;
- ensemble sédimentaire : bassin de la Saône et partie sud-est du Massif central, karstifié dans les formations carbonatées des Alpes et de la façade méditerranéenne du Massif central ;
- ensemble des alluvions du Rhône, de la Saône et des fleuves côtiers méditerranéens.

La classification litho-stratigraphique synthétique des systèmes et des domaines sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse reste à réaliser.

b) Identification des formations alluviales

À l'échelle du millionième, les zones alluviales ne prennent pas toujours en compte les alluvions productives. Comme sur les autres bassins, il apparaît que l'échelle de saisie des alluvions doit être le 1/50 000. L'exercice de découpage à cette échelle sur les alluvions de l'Isère a permis de mettre en évidence plusieurs problèmes particuliers.

À l'échelle régionale NV2, les **cônes d'éboulis** torrentiels seront rattachés aux alluvions (position imbriquée) ou seront considérés comme un système distinct (position suspendue). Les cônes de type coulées boueuses seront classés en domaine.

À l'échelle locale NV3, ils peuvent être traités de trois façons :

- indifférenciés s'ils ne représentent pas une ressource : ils sont confondus avec leur substratum ;
- considérés comme entités spécifiques s'ils présentent un intérêt hydrogéologique (zones de sources, épaisseurs connues...). Ils peuvent alors être déconnectés des alluvions ;
- rattachés aux alluvions s'ils sont constitués de colluvions en placage sous faible topographie (Vorépe).

Les **alluvions anciennes** seront en règle générale rattachées aux alluvions modernes quand la lithologie est semblable, hors indice suggérant l'individualisation d'un aquifère spécifique, tels que piézométrie ou ligne de sources.

Dans le cas contraire, elles feront l'objet d'un découpage spécifique avec représentation possible à l'échelle locale ou régionale. Ne devront cependant

apparaître que les terrasses présentant une certaine taille et un intérêt en terme de ressource régionale.

Si les terrasses ne contiennent aucune ressource, elles ne seront pas représentées ; elles seront « intégrées » au substratum. Néanmoins, si leur taille est particulièrement importante, on pourra éventuellement les individualiser.

Des cas particuliers sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse ont été identifiés et ont été traités de la manière suivante :

- le fluvio-glaciaire de la vallée du Rhône (au sens large) sera représenté au niveau NV3 lorsqu'il est situé en fond de vallée et que la ressource a été identifiée. Ce choix est identique à celui des précédents découpages ;
- les terrasses anciennes et déconnectées des cours d'eau, les placages de loess seront intégrés au substratum sous-jacent (en domaine hydrogéologique). Les terrasses modernes du Rhône en connexion hydraulique avec les alluvions seront regroupées ;
- le placage fluvio-glaciaire sur le socle dans les anciens lits du Rhône seront considérés comme unités aquifères en NV3 ;
- sur l'Isère, les terrasses lacustres aquifères seront intégrées aux alluvions.

Les **formations anciennes sur massifs calcaires** ne seront pas différenciées en règle générale. On leur appliquera les règles de découpage du karst. Cependant, certaines unités présentant un intérêt hydrogéologique pourront être traitées différemment (synclinal tertiaire de Autrans-Méaudre et remplissage plio-quadernaire de Villars-de-Lans) en recourant à trois niveaux de découpage :

- découpage du substrat multicouche,
- découpage vertical,
- découpage horizontal.

c) Découpage des ensembles sédimentaires

• Découpage « vertical »

Le bassin de l'agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse couvre plusieurs régions géologiques qui seront regroupées par bassins au nombre de six :

- Fossé de Bresse,
- Bas-Dauphiné,
- Carpentras,
- Plaine du Roussillon,
- Carcassonne,
- Aix.

d) Formations sédimentaires karstiques

Le principal secteur représentatif correspond au Vercors. Les structures géologiques majeures des massifs peuvent être prises en compte si elles ont un rôle de barrière. À défaut, et en règle générale, le réseau hydrographique est pris en compte, sous réserve qu'il soit hydrauliquement raccordé aux nappes (le niveau d'eau correspond au niveau de base de l'aquifère karstique).

e) Découpage du substrat socle

Le socle sur le territoire de l'agence Rhône-Méditerranée-Corse concerne : le Vivarais, l'Ardèche et les Cévennes.

Le socle de montagne est très différent du socle existant en Bretagne. Les principales différences tiennent aux fortes pentes (d'où un fort ruissellement) et à l'absence de couverture altérée susceptibles de contenir des réserves. En conséquence, le socle en RMC sera considéré comme un domaine. Localement (NV3), des zones de piémont, représentant les seules zones où la ressource en eau peut être espérée pourront faire l'objet d'unité aquifère.

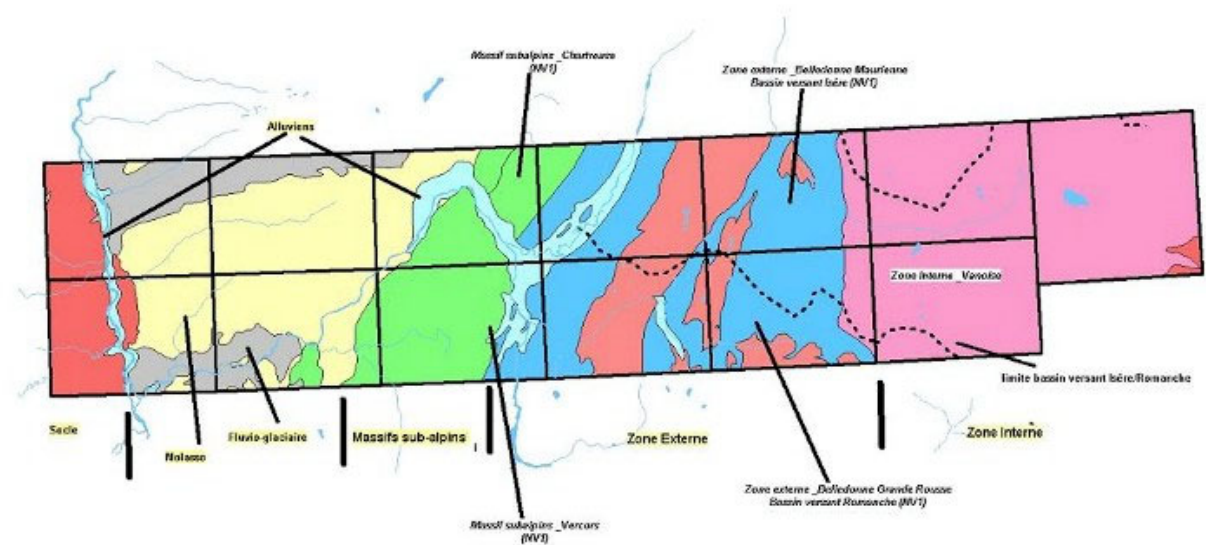
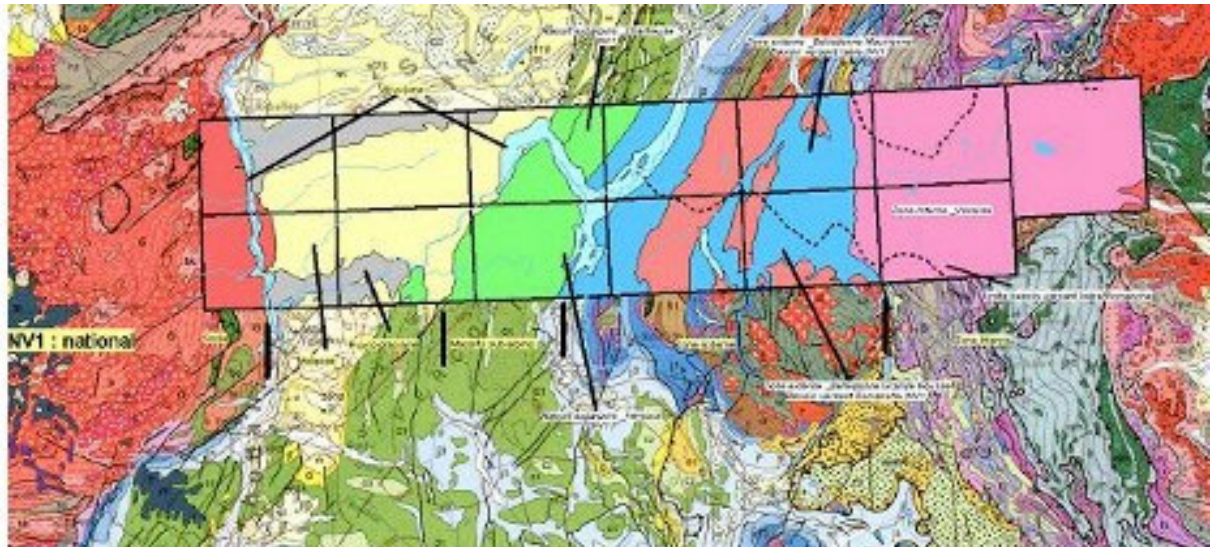
Le massif des Maures et l'Estérel seront classés en domaine.

f) Découpage des ensembles intensément plissés

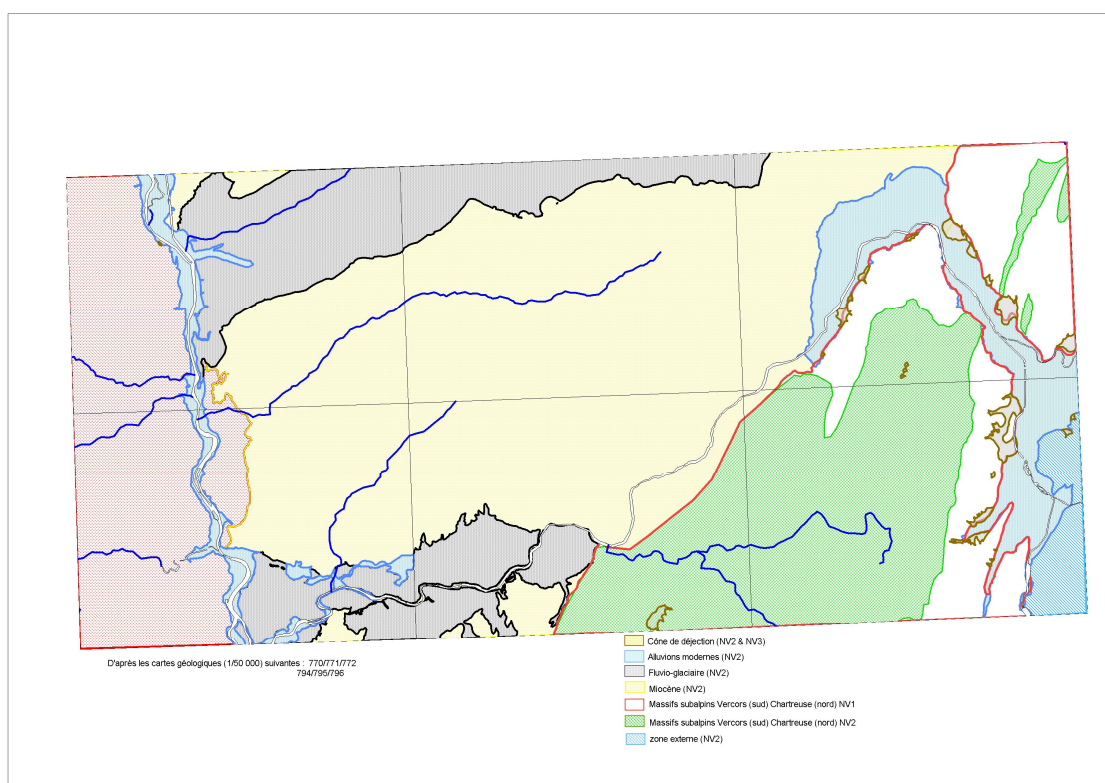
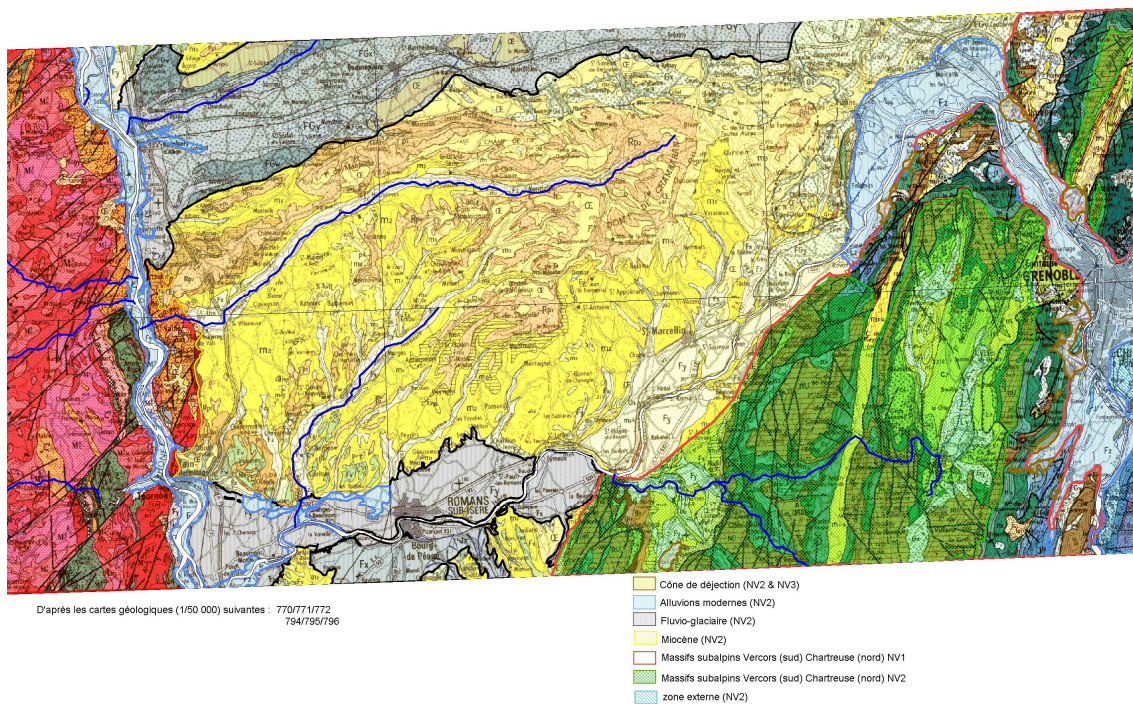
Le test du découpage des aquifères sur l'agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse a porté essentiellement sur le thème « intensément plissé » et a conduit à finaliser la méthodologie de ce thème. Ce thème n'a pas été traité sur les autres transects.

Identification au niveau national : les grandes unités structurales (massifs sub-alpins, zone externe, zone interne), les bassins versants de référence (Isère, Romanche), les bassins versants structurants (transverses aux structures).

Identification au niveau régional : Miocène, fluvio-glaciaire.



Identification des entités sur la carte géologique au 1/50 000.



Centre scientifique et technique
Service eau

3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34