

C2023-003

Colloque  
"Gestion des eaux souterraines"  
Bordeaux - 2023

## Article étendu

Titre
<i>ANAFORÉ : De nouvelles typologies d'aquifères de socle déclinées en une cartographie des Zones Potentiellement Productrices (ZPP) en eau souterraine pour devenir des Zones de Sauvegarde pour le Futur (ZSF).</i>
Nom des auteurs
<i>• Jean-Michel SCHROËTTER<sup>1</sup>, Alexandre BOISSON<sup>1</sup>, Flora LUCASSOU<sup>1</sup>, Anne-Gaelle BADER<sup>2</sup>, Laurent BECCALETTO<sup>2</sup>, Yamen OUERGH<sup>2</sup>, Benoit DEWANDEL<sup>3</sup>, Mélanie BARDEAU<sup>1</sup>, Bruno TOURLIERE<sup>2</sup>, Pascal BILLAULT<sup>4</sup>, Thierry PANAGET<sup>6</sup>, Arnaud LE GAL<sup>7</sup>, Olivier CHAUVIERE<sup>8</sup>, Nathalie BARRAIS<sup>9</sup>, Estelle CASTEL<sup>10</sup> et Sandra CARCAUD<sup>10</sup>.</i>
Affiliation
<i>(1) Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) Bretagne ; (2) Bureau de Recherches Géologiques et Minières Orléans ; (3) BRGM Montpellier ; (4) Agence de L'Eau Loire-Bretagne (AELB) ; (5) Région Bretagne ; (6) Agence Régionale de Santé Bretagne (ARS) ; (7) Eau du Morbihan (EdM) ; (8) Syndicat Mixte de Gestion de l'eau d'Ille-et-Vilaine (SMG35) ; (9) Direction de l'Aménagement, de l'Agriculture, de l'Eau, et de l'Environnement (DAAEE) du Conseil Départemental Finistère (10) Syndicat Départemental d'Alimentation en Eau Potable des Côtes d'Armor (SDAEP 22)</i>

Le projet ANAFORE est un projet qui a été financé par l'Agence de l'Eau Loir-Bretagne (AELB), le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), la Région Bretagne et l'Agence Régionale de Santé Bretagne (ARS). Il s'est déroulé entre 2017 et 2019. Son intitulé ANAFORE correspond à ANALYse multicritère des 100 FORages les plus productifs de bREtagne.

ANAFORE est la *Synthèse* de 100 forages d'eau très productifs en Bretagne, avec en moyenne, un débit instantané de 85,7 m<sup>3</sup>/h et une profondeur moyenne de 110,5 m, dont la répartition est de 29 forages en Morbihan, 25 en Ille-et-Vilaine et Côtes d'Armor, et 21 en Finistère.

**Que contient la synthèse ?** Lorsqu'une recherche en eau souterraine est réalisée, il est demandé à l'opérateur un panel d'acquisition de données pour leur implantation. La synthèse réalisée dans le cadre du projet ANAFORE s'est portée la ré-analyse et la ré-interprétation de ces acquisitions pour chaque site du forage, mais aussi sur de nouvelles acquisitions et nouveaux traitements.

Pour chaque *site/forage*, un *volet géologique* composé de *l'analyse et la synthèse* (des anaphores) :

- de la nature des roches en présence,
- de leurs histoires géologiques en fonction de l'histoire géologique du Massif Armoricaïn (contexte géologique),
- de leurs fracturations (ou degrés de fracturation, levé des mesures structurales sur chaque affleurement),
- et leurs altérations (ou du degré d'altération, position de chaque affleurement par rapport au profil d'altération de R. Wyns (1998)),

ont été réévaluées (734 affleurements de roches observés), accompagné de l'analyse des données de géophysique si elles étaient disponibles.

De la même manière, un *volet hydrogéologique* comprenant :

- L'analyse de l'historique du site pour la sélection de l'ouvrage à analyser,
- La digitalisation ou l'utilisation des données de l'essai de pompage pour sa réinterprétation;
- Le diagnostic de l'essai de pompage par le calcul par la « méthode des dérivées » de la courbe de rabattement, pour la mise en évidence du fonctionnement hydraulique de chaque forage (méthode développée par Benoit Dewandel puis optimiser dans le projet),
- L'analyse de la géomorphologie du site (hydrologie versus hydrogéologie).

***Pour chaque site, un fiche A3 recto : géologie, verso : hydrogéologie, est venue synthétiser tous ces anaphores.***

### ***Deux objectifs principaux***

**Objectif 1** - Faire une classification typologique de ces 100 forages à partir de l'analyse multicritère.

**Objectif 2** - Réaliser des cartes au 100 000 des secteurs les plus propices à la présence d'eau souterraine (ZPP : Zones Potentiellement Productrices) : pour leur préservation ou leur réservation à l'AEP (Zone de Sauvegarde pour le Futur : ZSF).

### ***Résultats***

De l'analyse multicritère pour répondre à ***l'objectif n°1*** à partir des anaphores géologiques, montrent que :

1. *Les lithologies (la nature des roches) ne constituent pas à elles seules des aquifères. Certaines montrent des statistiques favorables sur les débits instantanés mais pas*

*l'ensemble des lithologies et il existe des forages très productifs sur des lithologies avec des débits moyens instantanés statistiquement assez faibles.*

2. Les **failles** sont omniprésentes sur tous les sites avec des orientations assez récurrentes. Les failles/fractures montrent des orientations préférentielles dans lesquelles il faudra rechercher l'eau souterraine : sur les 100 sites et 734 affleurements de roches auscultés : les directions dominantes sont et récurrentes sont : NS +/- 20, N150 +/- 20 et N045 +/- 20,
3. L'**altération** est elle aussi omniprésente (avec au moins un profil d'altération par site). Soit ce profil est décalé par les failles, soit il existe plusieurs profils emboîtés. Sur 4 sites d'ANAFORE, il existe jusqu'à environ 4 à 5 profils d'altération superposés.
4. La dualité/interaction entre les failles et l'altération semble être le paramètre important au caractère productif de chaque site, indépendamment des lithologies. Les failles décalent les profils d'altération, favorisent le développement d'un gradient hydraulique qui favorise le développement du ou des profils d'altération.
5. Ainsi l'altération crée une porosité d'altération qui vient se surimposer à une porosité de fracture liée à l'action des failles.

Ainsi l'analyse multicritère des 100 forages/sites analysés permet un classement typologique qui s'accorde parfaitement avec la carte géologique et surtout à l'histoire géologique du Massif Armoricaïn (Illustration n°2).

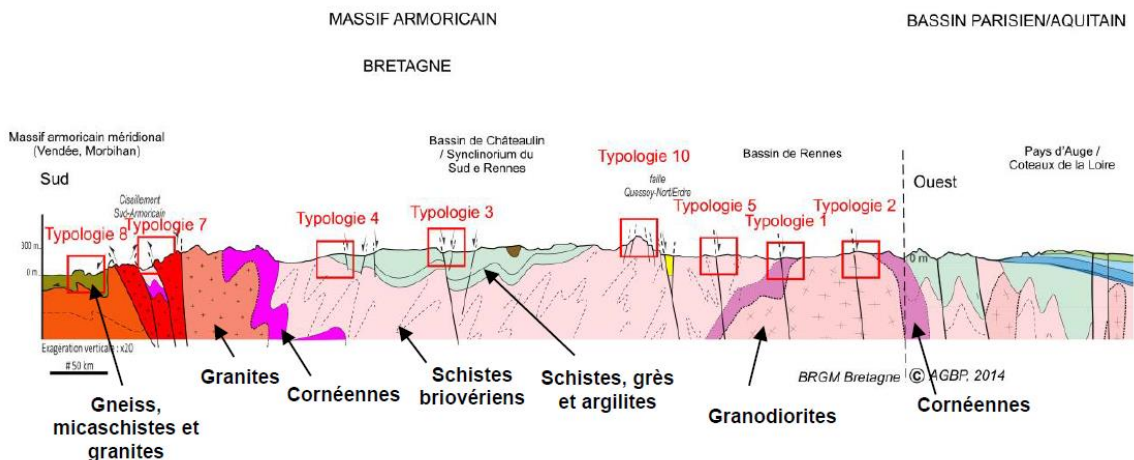
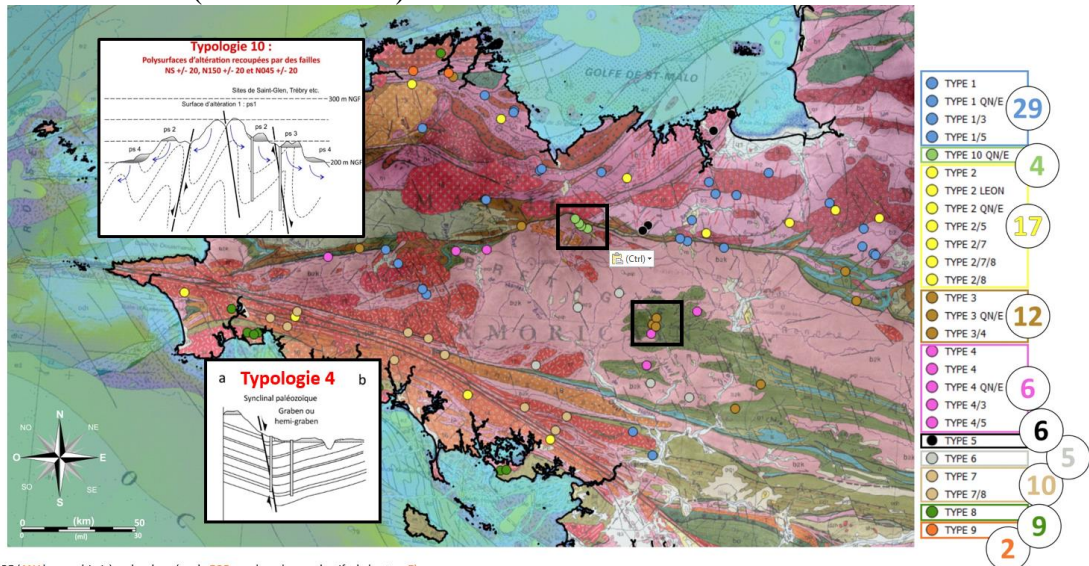


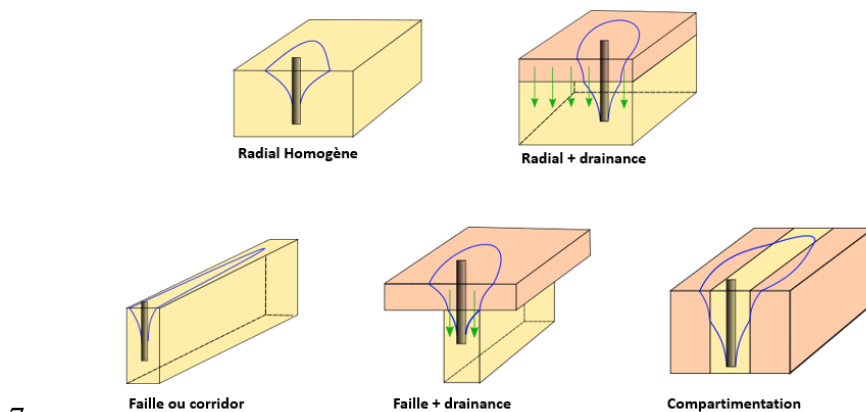
Illustration 104 : Coupe géologique du Massif armoricain jusqu'à sa bordure avec le bassin de Paris, et position des typologies ANAFORE (les typologies 6 et 9 n'ont pas pu être représentées).

Illustration 1 : En haut - Classement des forages ANAFORE par typologie géologique respective (et les effectifs par typologie) et deux exemples de typologies particulières ; En bas – Coupe synthétique dans le Massif armoricain avec quelques différentes typologies.

L'analyse multicritère permet de faire 10 typologies distinctes des 100 forages/sites analysés (Illustration n°1).

Les anaphores hydrogéologiques et notamment la réinterprétation des essais de pompages pour chaque forage lorsque ceux-ci étaient réutilisables ou disponibles ont permis :

1. De montrer que le fonctionnement hydraulique/hydrogéologique de chaque site, rentrait aussi dans un classement typologique, au nombre de 5, depuis un comportement hydraulique dans une faille ou corridor de failles (1), à une faille puis de la drainance associée (2), à un comportement hydraulique radial homogène (3) puis de la drainance associée (4) et enfin à de la compartimentation (5) (Illustration n°3).
2. De monter une bonne relation avec la géologie locale, réaliser par l'analyse géologique,
3. De monter l'importance de la fracturation avec la dominance de la typologie hydraulique montrant un comportement hydraulique dans une faille ou un corridor de failles, et la mise en avant du rôle de la fracturation plutôt orienté N150.
4. De monter un fort lien avec la partie supérieure des aquifères qui pouvait être de soit alluvial (relation à la rivière) soit latéritique (relation avec l'altération),
5. De montrer aussi les limitations liées à données hétérogènes (temps de pompage trop court) ou incomplètes,
6. Et enfin de monter que les débits d'exploitation ou critiques les plus élevés étaient très localisés et en lien avec les structures tectoniques régionales de direction identifiée dans l'analyse géologique ou des secteurs identifiés dans cette étude et déjà fortement soupçonnés, avec la mise en évidence de trois zones à fort potentiel : la faille Quessoy-Nort-sur-Erdre QNE), le prolongement à terre des bassins éocènes majeurs marins et le secteur de Fougères.



7. *Illustration 2 : Classement des forages ANAFORE par typologie hydraulique/hydrogéologique*

### Le passage de l'objectif n°1 à l'objectif n°2.

Les observations faites à l'échelle du site dans l'objectif n°1 de l'étude ANAFORE et qui ont permis de réaliser des typologies de l'ensemble des forages, typologies sont fonction des contextes géologiques donc de l'histoire géologique du Massif Armoricaïn, et la réinterprétation des données hydrogéologiques qui confirment les conclusions géologiques, ont permis d'étendre ces analyses à l'échelle du territoire breton pour en proposer des Zones Potentiellement Productrices en eaux souterraines et répondre à l'objectif n°2.

**Objectif 2** – Réaliser des cartes au 100 000 des secteurs les plus propices à la présence d'eau souterraine (ZPP : Zones Potentiellement Productrices) : pour leur préservation ou leur réservation à l'AEP (Zone de Sauvegarde pour le Futur : ZSF).

La création des ZPP s'est appuyé sur plusieurs analyses statistiques à l'échelle de la Bretagne orientée par les résultats de l'objectif n°1, listés ci-dessus. Ainsi la délimitation des ZPP jongle entre :

1. Structures tectoniques (failles favorables à la présence d'eau souterraine),
2. Lithologies (nature des roches) favorables,
3. Forages avec de fortes productions d'eau souterraine identifiées,
4. Géomorphologie de la Bretagne,

La carte des ZPP s'appuie sur 4 cartes principales :

***Les failles locales et régionales :***

La caractérisation des failles s'est faite par la réalisation d'une carte de densité des failles des cartes géologiques au 1/50 000 du BRGM fonction des sources à l'échelle du territoire qui confirment les analyses faites sur chaque site (Illustration n°3).

Les failles régionales favorables sélectionnées sont celles qui ont eu une activité tectonique importante (rejet apparent important, Illustration n°3).

***Les lithologies (nature des roches) :***

La caractérisation des lithologies (nature des roches), s'est faite par la réalisation d'une carte des débits instantanés moyens des lithologies des cartes au 1/50 000 du BRGM (Illustration n°3).

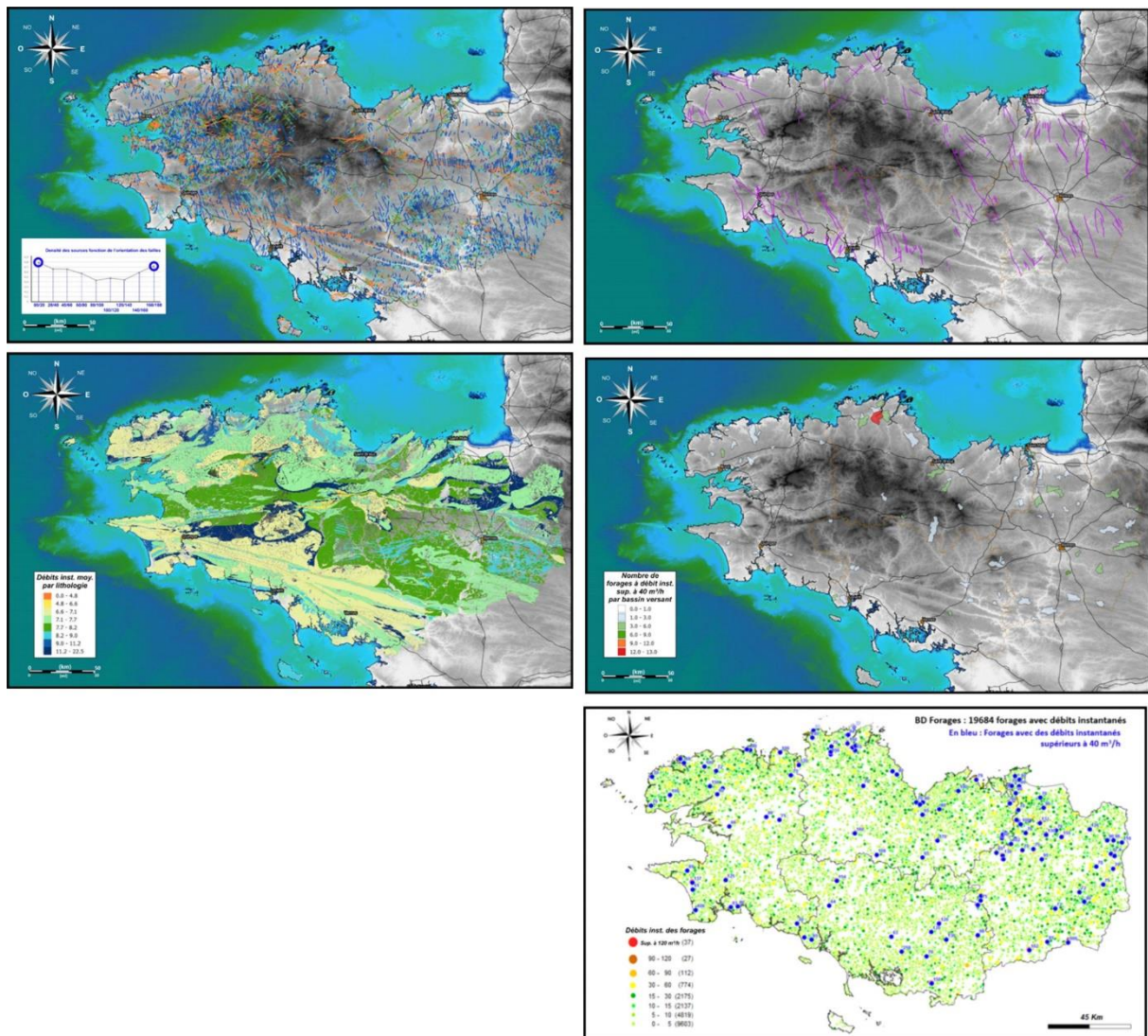
***Les bassins versants « immédiats » de petites tailles :***

Les bassins versants dits comme « immédiats » sont les bassins versant de petites tailles sur lesquels un comptage des forages supérieurs à 40 m<sup>3</sup>/h (forages qui constituent 4% des forages sur les 19684 possibles) (Illustration n°3).

***La base de données « forages » :***

Les trois premières cartes se sont appuyées sur une base de données des forages bretons de 19 684 forages sur lesquels ont été extraits les débits instantanés déclarés dans la Banque du Sous-Sol (Illustration n°3).

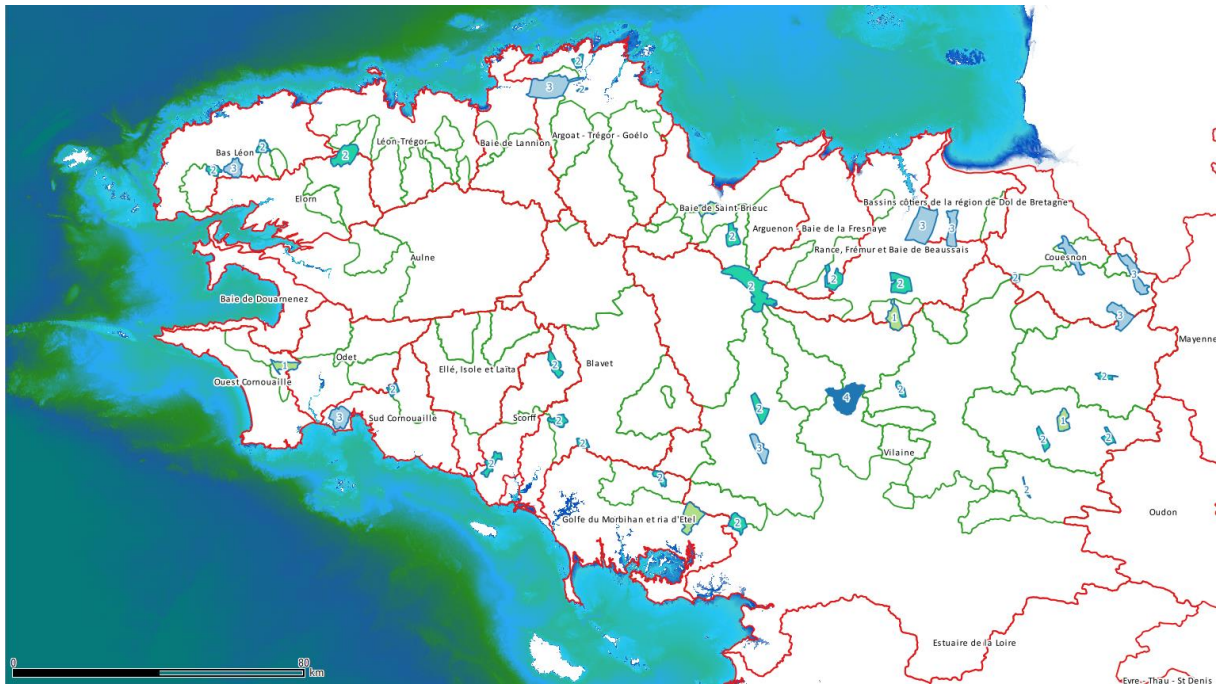
L'Illustration n°9 correspond à la combinaison de ces 5 paramètres principaux et de l'analyse multicritère des 100 forages des plus productifs de Bretagne.



*Illustration 4 : En haut à gauche - Densité des sources en fonction de l'orientation des failles (de bleu nuit: favorable à orange peu favorable) ; En haut à droite - Failles régionales avec les rejets apparents tectoniques les plus importants ; Au milieu à gauche - Débits instantanés moyens par lithologies harmonisées (nature des roches) au 1/50 000 ; Au milieu à droite - Nombre des forages avec un débit instantané supérieur à 40 m<sup>3</sup>/h par bassin versant ; enfin en bas - Base de données des forages utilisés pour les analyses statistiques*

**Conclusions** ANAFORE a permis tout en s'appuyant sur le modèle en vigueur de l'aquifère de socle définie par Robert WYNS en 1998 :

1. **De définir de nouveaux styles d'aquifères de socle (au moins 4):**
  - Profil d'altération fossile (Beignon, 56 couplé à l'étude sur l'AFF) et autres comme Monterfil en 35) ;
  - Secteur avec multi-profil d'altération (Notre Dame du Mont-Carmel en 22 et autres) ;
  - Profil d'altération au-dessus de structures tectoniques (synclinaux paléozoïques);
  - Et relation structures tectoniques et altération.
2. **De définir quels secteurs peuvent être propices en eaux souterraines et de préciser comment mieux les rechercher, par la caractérisation de leurs relations avec les failles et l'altération des roches ; ce qui dans une perspective de changement climatique et d'augmentation de la demande sur la ressource, est une donnée essentielle pour adapter les scénarios de gestion.**
3. **et enfin de mieux diagnostiquer ces circulations souterraines de ces réservoirs et permettre une meilleure protection.**



*Illustration 9 : Carte des ZPP en vue de devenir des ZSF en fonction des SAGES de Bretagne, correspondant à la combinaison des 5 paramètres principaux et de l'analyse multicritère des 100 forages des plus productifs de Bretagne, décrits ci-dessus. Chaque zone est digitalisée au 1/50 000 pour une validité cartographique au 1/100 000 et les limites des zones combinent : failles, limite de natures de roches différentes, de bassin versants. Enfin, le numéro associé à chaque zone correspond aux nombres d'arguments (de 4 à 1) qui ont permis leur création mais qui peut être utilisé comme critère de sélection ou pas pour une priorisation, mais qui n'est pas une condition nécessaire.*