

DOCUMENT PUBLIC

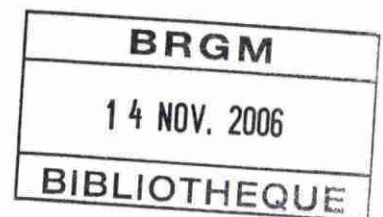
Fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'Aron (Mayenne)

Caractérisation hydrogéologique d'un bassin versant de socle cristallin

Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2000EAU521

P. Weng, P. Lachassagne

Juillet 2000
BRGM/RP-50344-FR



Mots clés : socle cristallin, altérites, hydrogéologie, Mayenne

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

Weng P., Lachassagne P. (2000) – Fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'Aron (Mayenne). Caractérisation hydrogéologique d'un bassin versant de socle cristallin. BRGM RP-50344-FR, 24 p., 8 fig., 2 tabl.

© BRGM, 2000, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le Conseil Général de la Mayenne a sollicité la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) des Pays de la Loire pour un travail de caractérisation quantitative et qualitative du fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'Aron. Dans ce cadre, la DIREN a demandé au BRGM une caractérisation hydrogéologique de ce bassin versant. Cette intervention du Service Géologique Régional des Pays de la Loire s'inscrit dans le cadre de sa mission d'appui à la police des eaux souterraines.

Le bassin versant de l'Aron, dont le sous-sol est majoritairement composé de formations de socle (roches plutoniques et métamorphiques à dominante granitique), se situe à environ 100 km au Nord de Laval, dans le département de la Mayenne.

L'analyse des informations disponibles au sein de la banque du sous-sol (BSS), des cartes géologiques de la région, des travaux antérieurs et une visite de terrain permettent de proposer une première ébauche du fonctionnement hydrogéologique de ce bassin versant. Les altérites et la zone fissurée altérée des roches de socle, qui constituent la partie capacitive de l'aquifère, sont relativement bien préservées sur le bassin versant. Ceci suggère une ressource en eau qui, comme dans toutes les régions de socle, doit rester modeste, mais est significative. Les formations sédimentaires, limitées en extension et en volume, doivent jouer un rôle très secondaire. Les niveaux piézométriques sont très proches de la surface topographique sur l'ensemble du bassin versant et l'aquifère est majoritairement drainé par les cours d'eau. De plus, une relativement bonne concordance doit exister entre les bassins versants hydrologique et hydrogéologique.

Les données de chimie des eaux concernant le bassin versant montrent que celle-ci est caractéristique d'aquifères de socle (minéralisation faible à moyenne). Localement, la composition chimique des eaux souterraines est influencée par des activités anthropiques (fortes concentrations en nitrates) ou naturelles (concentrations importantes en fer et sulfates).

Ces éléments ont conduit à proposer une typologie prévisionnelle des sous bassins versants définis par la DIREN, typologie qui pourrait servir à l'interprétation des données quantitatives et qualitatives recueillies par la DIREN sur les eaux de surface.

Sommaire

Introduction	7
1. Méthodologie.....	8
2. Localisation du bassin versant.....	9
2.1. Morphologie	9
2.2. Géologie	10
2.2.1. Socle protérozoïque et primaire.....	10
2.2.2. Altération du socle cristallin.....	10
2.2.3. Formations sédimentaires tertiaires et quaternaires	11
2.2.3.1. Eocène	11
2.2.3.2. Pléistocène-Pliocène.....	11
2.2.3.3. Holocène.....	11
2.3. Hydrodynamique	12
2.3.1. Socle cristallin	12
2.3.1.1. Schéma conceptuel de la structure et du fonctionnement hydrogéologique des aquifères de socle.....	12
2.3.1.2. Aquifère de socle du bassin versant de l'Aron.....	13
2.3.1.2.1. Géométrie des formations d'altération	13
2.3.1.2.2. Propriétés hydrodynamiques	14
2.3.1.2.3. Piézométrie.....	15
2.3.1.2.4. Conclusion.....	15
2.3.2. Formations sédimentaires.....	16
2.3.2.1. Eocène - Oligocène.....	16
2.3.2.2. Pliocène - Pléistocène.....	16
2.3.2.3. Quaternaire	16
2.4. Hydrochimie	17
2.4.1 Caractérisation chimique des eaux souterraines du bassin versant de l'Aron	17
2.4.2. Relations entre environnement géologique et concentrations naturelles en métaux dans les eaux souterraines.....	17
3. Typologie prévisionnelle des sous-bassins versants	20
Conclusions	22
Références bibliographiques.....	23

Liste des illustrations

FIGURES

Fig. 1 – Localisation du bassin versant de l'Aron.

Fig. 2 – Contexte géologique du bassin versant de l'Aron.

Fig. 3 – Relations entre le profil en long de l'Aron et la base des altérites (Wyns 1999).

Fig. 4 – Schéma conceptuel des formations d'altération des roches de socle.

Fig. 5 – Altitude de la base des altérites et épaisseur des altérites sur le bassin versant de l'Aron.

Fig. 6 – Position des ouvrages et débits en fin de foration.

Fig. 7 – Position des ouvrages et profondeur de l'eau.

Fig. 8 – Position des ouvrages et analyses géochimiques.

TABLEAUX

Tabl. 1 – Analyses de chimie des eaux disponibles dans la banque du sous-sol dans le secteur étudié.

Tabl. 2 – Description des sous-bassins versants DIREN de l'Aron.

Introduction

Le Conseil Général de la Mayenne a sollicité la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) des « Pays de la Loire » pour un travail de caractérisation quantitative et qualitative du fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'Aron (département de la Mayenne – Figure 1). Actuellement, la DIREN réalise un travail essentiellement centré sur les eaux de surface de ce bassin versant : jaugeages des cours d'eau, prélèvements pour caractérisation hydrochimique des eaux, hydrobiologie. Treize stations de mesure régulièrement réparties au sein du réseau hydrographique font l'objet de quatre campagnes d'échantillonnage au cours d'une année hydrologique (septembre 1999 à août 2000).

Dans ce cadre, la DIREN a sollicité le BRGM afin de disposer d'une caractérisation hydrogéologique du bassin versant :

- présentation du fonctionnement hydrogéologique des différents ensembles géologiques identifiés sur le bassin versant ;
- synthèse des données hydrogéochimiques disponibles pour caractériser la qualité des eaux souterraines ;
- modalités de la contribution des ces ensembles hydrogéologiques au débit de l'Aron et typologie fonctionnelle des sous bassins versants de l'Aron.

Cette l'intervention du Service Géologique Régional des Pays de la Loire du BRGM s'inscrit dans le cadre de sa mission d'appui à la police des eaux souterraines.

Bassin versant de l'Aron

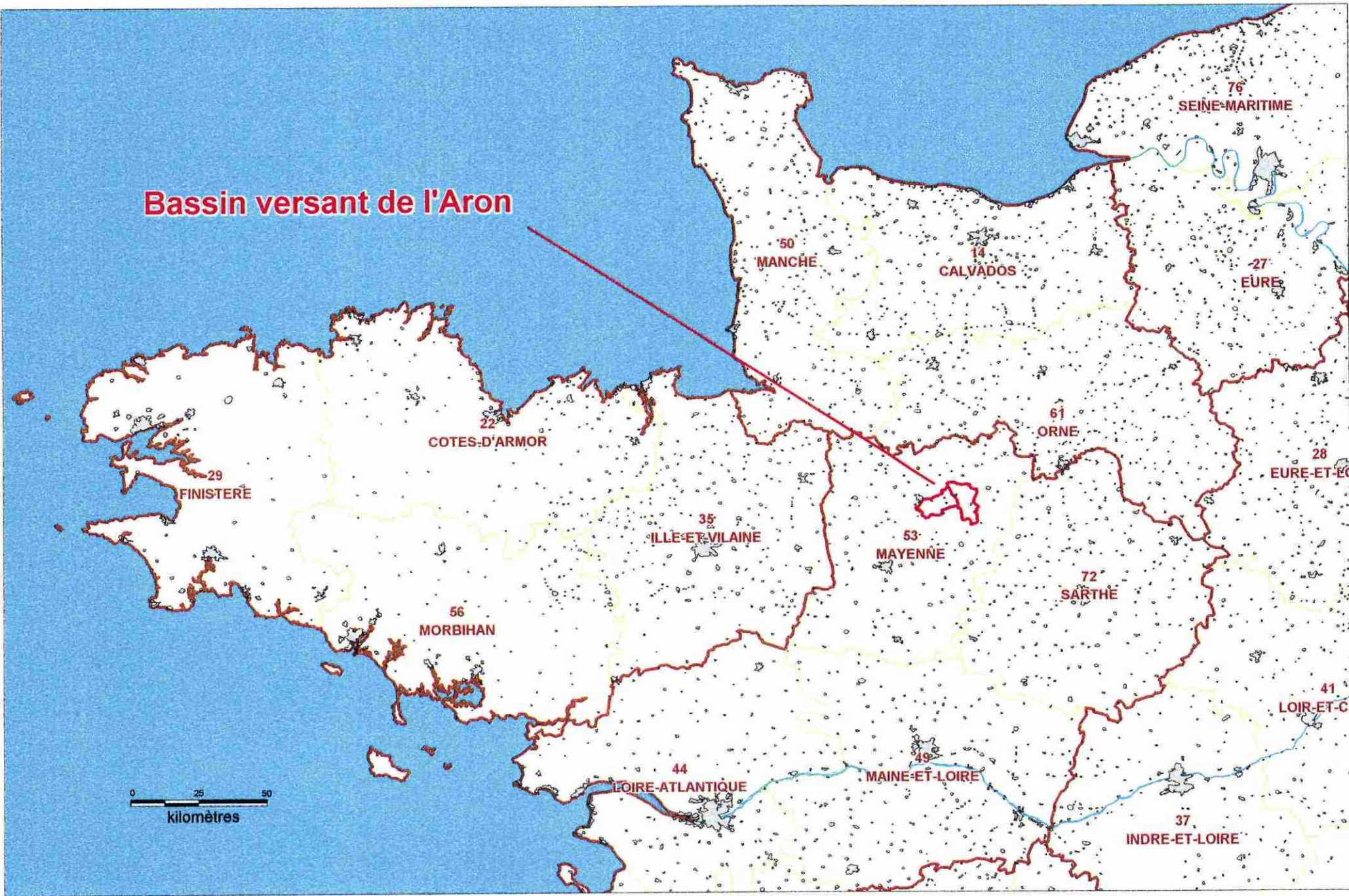


Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'Aron

1. Méthodologie

L'étude du fonctionnement hydrogéologique du bassin versant de l'Aron mise en œuvre dans le cadre du présent travail est fondée sur deux approches :

- d'une part le recueil, l'analyse et la synthèse des documents et informations existants ;
- d'autre part l'interprétation, dans ce cadre, d'observations de terrain réalisées à l'occasion d'une visite d'une journée sur le bassin versant.

Les principaux documents qui ont été recueillis et analysés sont les suivants :

Hydrologie :

- réseau hydrographique (BD Carthage) ;
- limites du bassin-versant de l'Aron fournies par la DIREN sous forme numérique ;
- localisation des stations de jaugeages et de prélèvements de la DIREN.

Géologie :

- carte géologique des Pays de la Loire à 1/250 000 (BRGM, 1998) ;
- carte géologique « Mayenne » à 1/80 000 (BRGM, 1965) ;
- dossiers disponibles au sein de la banque du sous-sol (BSS) ;
- publications : Wyns (1991a et b, 1999 et 2000).

Hydrogéologie :

- rapports BRGM : « ressources en eaux souterraines en zone de socle de la Vendée » (BRGM, 1999), "Ressources en eau profonde de qualité et dénitrification naturelle en Mayenne" (BRGM, 1997) ;
- rapport présentant le "Catalogue des périmètres de protection autour des captages d'alimentation en eau publique" (DDAF, 1993).

Géochimie :

- rapports BRGM : "Mise à disposition de l'Inventaire Géochimique sur le territoire national (pour identifier les zones à risques de teneurs naturelles élevées en métaux lourds dans les eaux destinées à l'AEP)" (BRGM, 1998) ; « Origine des éléments indésirables ou toxiques dans les eaux souterraines. Réalisation d'un inventaire national et essai d'identification de l'origine des teneurs anormales" (BRGM, 1999) ; "Apport de l'hydrogéochimie isotopique à la connaissance des sources de pollution azotée sur un site du bassin versant de l'Arguenon (Côtes d'Armor)" (BRGM, 2000).

2. Localisation du bassin versant

2.1 MORPHOLOGIE

L'Aron est un affluent rive gauche de la Mayenne qui conflue avec celle-ci en aval immédiat de la ville éponyme, à proximité du village de Moulay (Figures 1 et 2).

La longueur de ce cours d'eau est d'environ 33 km depuis la partie la plus éloignée du bassin versant (commune de Bais), qui constitue le sous bassin versant sud-est du cours d'eau. Dans sa partie amont, l'Aron reçoit principalement des affluents rive droite (le ruisseau du Moulin et le ruisseau du Tarot). En aval de Marcillé-la Ville, il reçoit principalement des affluents provenant de sa rive gauche (le ruisseau des Brosses et le ruisseau de Prémamboux).

Le bassin versant de l'Aron présente une superficie de 186 km² pour un périmètre de 76 km environ. L'extension maximale du bassin versant est de 18 km du Nord-Nord-Est au Sud-Sud-Est (de l'amont du bassin versant du Tarot à l'amont de celui de l'Aron) et de 24 km de l'Est-Nord-Est à l'Ouest-Sud-Ouest (de l'amont du ruisseau du Moulin à la confluence avec la Mayenne).

La partie amont des bassins versants des ruisseaux du Tarot et du Moulin d'une part (au Nord) et la partie amont du bassin versant de l'Aron d'autre part (au Sud) constituent les zones d'altitude maximale du bassin versant : elles se présentent toutes deux sous la forme de plateaux, d'altitude comprise entre 300 et 320 m NGF, disséqués par le réseau hydrographique.

Le profil en long de l'Aron, tel que défini à partir de la carte topographique au 1/50.000^e, montre trois parties significativement différentes (Figure 3) :

- de la source (200 m NGF) au lieu dit "le Val" (150 m NGF), le cours d'eau a un profil de type exponentiel avec une pente moyenne de l'ordre de 6‰,
- du lieu dit "le Val" au lieu dit "Beau Chêne" (110 m NGF), il présente une pente quasi constante, voisine de 2‰,
- en aval et jusqu'à la Mayenne, (90 m NGF), la pente augmente à nouveau jusqu'à 4‰ environ.

Cette morphologie pourrait être due à la reprise érosive « récente » d'un profil en long ayant atteint antérieurement l'équilibre (Figure 3). Cette reprise d'érosion doit être liée à un abaissement du niveau de base que constitue la Mayenne. Sur le terrain, ce phénomène se traduit par le caractère encaissé de la vallée de l'Aron, en aval de « Beau Chêne », de la vallée de la Mayenne et du cours aval des principaux affluents de cette dernière.

Ce phénomène de recreusement est connu à l'échelle de l'ensemble du Massif Armoricaïn (Bonnet, 1999).

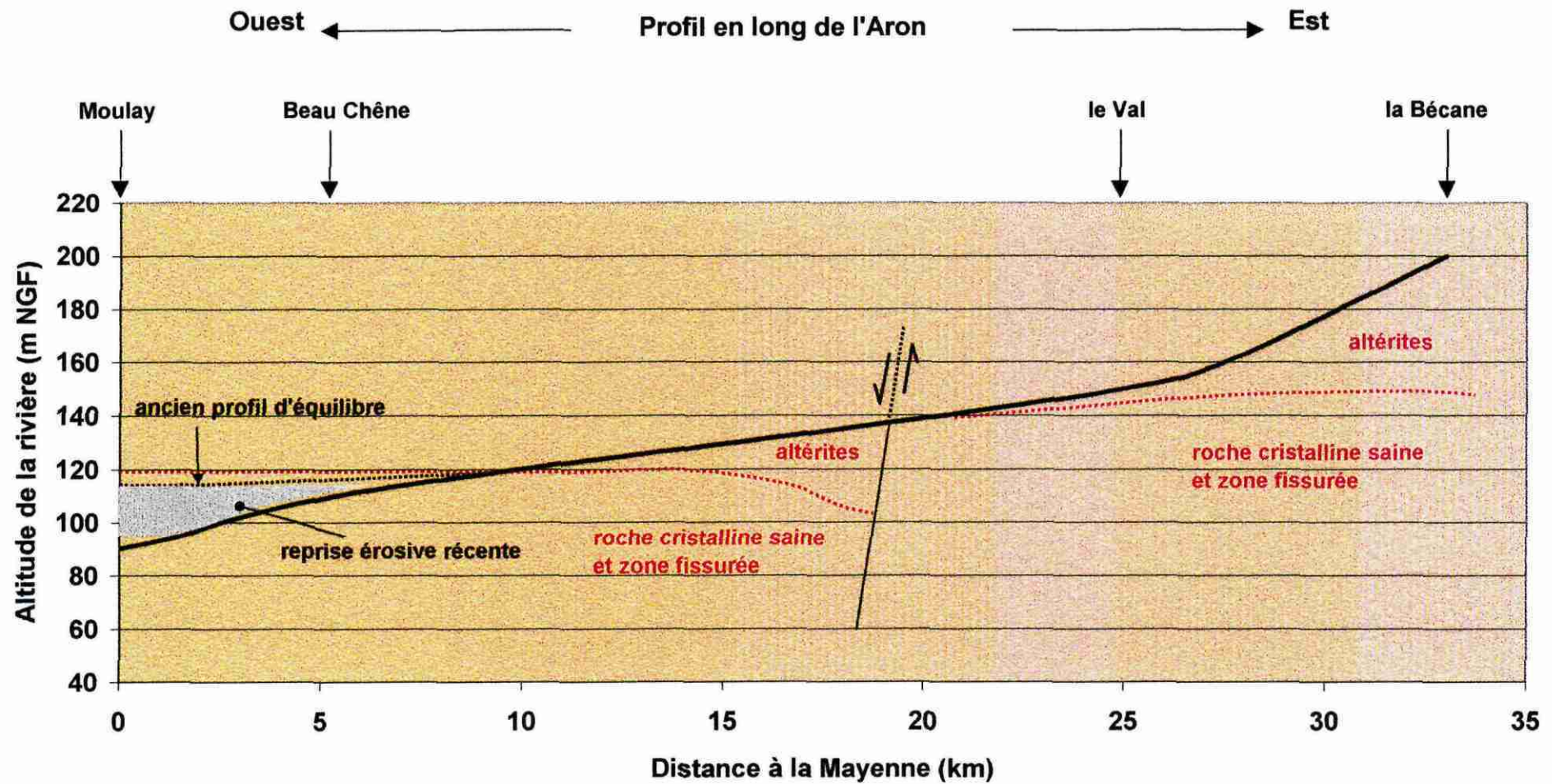


Figure 3: Relations entre le profil en long de l'aron et la base des altérites

2.2 GEOLOGIE

Le sous-sol du bassin versant de l'Aron est formé d'un substratum plutonique et métamorphique (Massif Armoricain), représentant près de 80% de la surface du bassin, et recouvert très partiellement de formations sédimentaires tertiaires et quaternaires.

2.2.1. Socle protérozoïque et primaire

Dans le secteur étudié, le socle est composé de formations protérozoïques (Antécambrien : plus de 600 millions d'années - Ma) et primaires (de 600 à 265 Ma) qui font partie du massif Armoricain.

Le socle protérozoïque est constitué d'anciens sédiments, essentiellement gréseux et argileux, plissés et métamorphisés, et transformés, de ce fait, en schistes. Ces formations ont ensuite été intrudées par des granites à la fin de l'orogénèse cadomienne (Antécambrien), et recouvertes de sédiments paléozoïques dès le Cambrien. Une série de transgressions et régressions ont ensuite permis le dépôt de séries sédimentaires complètes de l'Ordovicien au Dévonien. Ces formations sédimentaires ont alors été plissées en grands synclinaux et anticlinaux lors de l'orogénèse hercynienne. Les témoignages actuels de l'orogénèse hercynienne sont essentiellement les synclinaux, mieux préservés, et qui présentent des séries sédimentaires souvent complètes s'étendant du Cambrien au Dévonien.

Au carbonifère, une phase tectonique tardive héritée de l'orogénèse hercynienne cisaille le socle protérozoïque et paléozoïque de Brest à Laval (le déplacement dextre cumulé est de l'ordre de 30 km) et permet la remontée de nouvelles intrusions granitiques.

Sur le bassin versant de l'Aron (Figure 2), les schistes précambriens sont uniquement présents dans la partie Sud-Est du bassin (secteur de Bais et d'Hambers). Les granites intrusifs qui leurs sont associés affleurent sur la majeure partie du bassin. A leur contact avec les schistes se sont développées des cornéennes (faciès de « recuit » des schistes à proximité du contact avec les granites).

Le sous-sol de la partie Nord du bassin versant (communes de Hardange et de Loupfougères) est constitué d'un synclinal primaire comprenant des couches d'âge cambrien à silurien, à faciès essentiellement gréseux et schisteux.

A proximité du contact entre le synclinal primaire et les granites précambriens, ces derniers sont très fortement déformés (mylonitisation).

2.2.2. Altération du socle cristallin

Durant l'ère Secondaire et principalement au Tertiaire, ces formations cristallines ont été soumises à des processus d'altération d'origine climatique qui ont profondément transformé leur partie superficielle (cent premiers mètres) qui s'est transformée en « altérites ».

2.2.3. Formations sédimentaires tertiaires et quaternaires

2.2.3.1. Eocène

Les sédiments éocènes reposent directement sur le substratum cristallin. Ils sont essentiellement présents dans la partie centrale du bassin versant (Figure 2), sur les communes d'Aron, de Marcillé-la-Ville et de Grazay, à l'Ouest d'une faille de direction nord-nord-ouest – sud-sud-est. Cette faille normale a permis l'abaissement du compartiment Ouest et, de ce fait, le dépôt et la préservation partielle de ces sédiments. Ceux-ci présentent principalement un faciès sablo-argileux. Il s'agit essentiellement d'altérites remaniées, les éléments sableux ne montrant que les indices d'un transport limité entre les zones d'érosion et de dépôt.

2.2.3.2. Pléistocène-Pliocène

Les sédiments Pléistocènes et Pliocènes sont composés de formations alluviales : sables, limons, argiles et graviers. Ils forment, au Nord-Ouest du bassin versant, une bande d'extension nord-sud, puis nord-est – sud-ouest, d'une largeur maximale d'environ 5 km, qui suit grossièrement le cours actuel de la Mayenne. Le mur de ces formations sédimentaires se situe à une altitude d'environ 120-130 m NGF au niveau de la ville de Mayenne. Il s'agit vraisemblablement du paléo-lit majeur de ce cours d'eau (bande de méandrage Pléistocène et Pliocène) datant d'avant sa phase actuelle de recreusement. Il est à noter que l'altitude du mur des sédiments coïncide relativement bien avec l'extrapolation du profil d'équilibre ancien (avant recreusement « récent ») de l'Aron (Figure 3). Ce recreusement est donc très vraisemblablement post-Pliocène.

Ces sédiments pléistocènes et pliocènes sont essentiellement présents dans la partie nord-ouest du bassin versant, sur les communes de Mayenne et d'Aron.

2.2.3.3. Holocène

Les formations sédimentaires quaternaires sont relativement peu développées sur le bassin versant. Elles présentent une extension maximale entre Aron et Grazay, dans le lit majeur actuel de l'Aron et autour des étangs de la Forge et de Beaucoudray (Figure 2).

Dans ce secteur, ces formations sédimentaires, attribuées à la période post-glaciaire, sont constituées de sables, graviers et vases d'origine fluviale. Bien qu'aucun sondage BSS ne mentionne leur épaisseur, il est probable, compte tenu de la morphologie de la zone, qu'ils présentent une épaisseur modérée (quelques mètres tout au plus).

Ailleurs, les formations sédimentaires récentes sont limitées au lit majeur des cours d'eau qui présentent en général une extension latérale réduite (quelques dizaines de mètres à cent ou deux cents mètres).

2.3. HYDRODYNAMIQUE

Compte tenu de leur extension et de leur position morphologique, les formations du socle cristallin jouent un rôle majeur quant à l'hydrogéologie du bassin versant.

2.3.1. Socle cristallin

2.3.1.1. Schéma conceptuel de la structure et du fonctionnement hydrogéologique des aquifères de socle

Les aquifères des formations de socle cristallin (sous-sol composé de roche plutoniques et métamorphiques) sont constitués schématiquement de plusieurs compartiments géologiques aux propriétés hydrogéologiques contrastées. Du bas vers le haut, elles comprennent (Figure 4) :

- le **substratum rocheux sain**. Il ne présente de bonnes propriétés de perméabilité que très localement, au droit des fractures d'origine tectonique qui l'affectent. Il n'offre en général qu'une très faible capacité de stockage d'eau souterraine à l'échelle du bassin versant (porosité efficace $\ll 10^{-2}$),

- un horizon intermédiaire, la zone « **fissurée altérée** ». Son épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. Il est caractérisé par la présence de fissures (subhorizontales dans les granites) dont la densité décroît avec la profondeur. Ces figures sont dues à l'altération des minéraux phyliteux (essentiellement les micas : biotite) qui, du fait de l'augmentation de volume associée, engendre une fissuration de la roche qui s'exprime préférentiellement selon des plans horizontaux, perpendiculaires à la contrainte minimale. Cet horizon présente une transmissivité suffisante pour permettre une productivité pouvant atteindre quelques mètres cubes par heure aux forages ; sa porosité efficace est voisine de 1%,

- les formations d'altération de ce substratum, les **altérites** (ou arènes), qui le recouvrent sur une épaisseur variable (de zéro à plusieurs dizaines de mètres). Du fait de leur composition argilo-sableuse, elles présentent une relativement faible perméabilité, mais des capacités significatives de rétention d'eau (porosité efficace -arènes sableuses- comprise entre 2-3% et plus de 15%). Ce compartiment assure, lorsqu'il est saturé, une fonction capacitive.

Dans un tel contexte, les régions dotées d'une **ressource en eau** la plus importante sont logiquement celles où les altérites ou, à défaut, la zone fissurée-altérée, présentent une forte épaisseur mouillée (c'est à dire que ces formations ont été préservées de l'érosion et que le niveau piézométrique de la nappe en leur sein est proche de la surface du sol).

Une méthodologie permettant de cartographier, à l'échelle de plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres carrés, la **géométrie des altérites et de la zone fissurée-altérée** (puissance, extension) a récemment été développée (Wyns, 1999 et 2000). Elle s'appuie sur une approche géologique et géomorphologique et repose sur l'identification de la géométrie des paléosurfaces d'altération ainsi que des effets de l'érosion postérieure à leur développement.

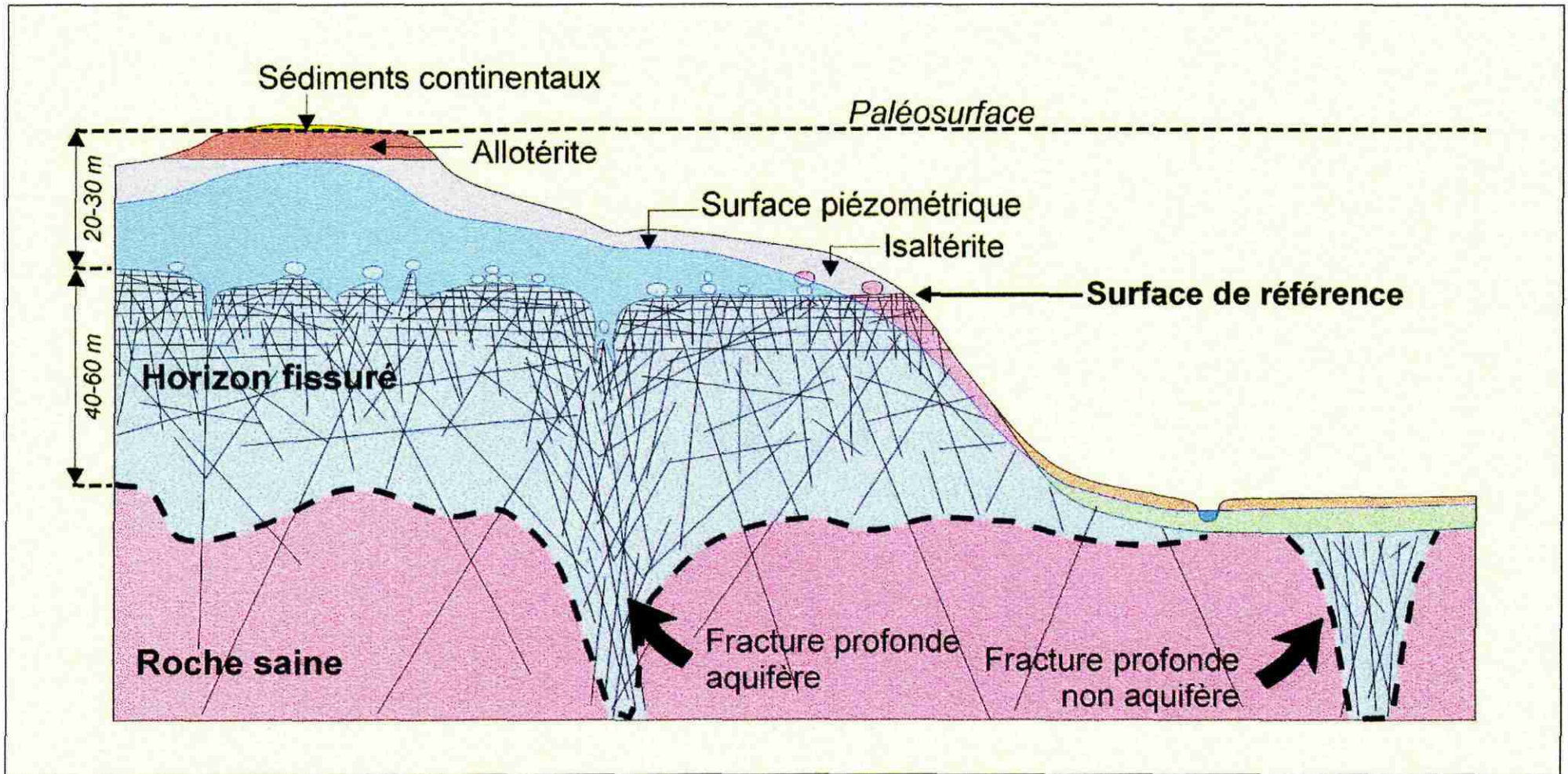


Figure 4 : Schéma conceptuel des formations d'altération des roches de socle (Wyns, 1999)

2.3.1.2. Aquifère de socle du bassin versant de l'Aron

2.3.1.2.1. Géométrie des formations d'altération

Les formations d'altération du socle du bassin versant de l'Aron n'ont pas fait l'objet, à ce jour, d'une cartographie géologique. La visite de terrain réalisée dans le cadre de ce travail et le recueil des données disponibles au sein de la BSS (vingt-cinq points répertoriés sur le bassin versant) ont néanmoins permis les observations suivantes (Figure 5) :

- la partie ouest du bassin versant (à l'Ouest du Ruisseau du Tarot) montre une limite entre altérites et zone fissurée altérée nettement plus basse, en moyenne, que dans sa partie Est : de 115 à 120 m NGF dans la partie ouest, contre 140 à 220 m NGF environ dans sa partie est,
- dans la partie est du bassin versant, la base des altérites semble se situer à une altitude élevée au niveau des reliefs (plus de 200 m NGF) et plus faible dans les vallées (160 à 175 m NGF).

Dans la partie ouest du bassin versant, l'interface altérites/socle semble présenter une altitude relativement homogène, voisine de 120 m NGF¹. L'épaisseur résiduelle maximale des altérites est donc voisine d'une trentaine de mètres dans le secteur où le bassin versant présente une altitude maximale, entre le ruisseau de Prémabou et le ruisseau des Brosses. Ailleurs, cette épaisseur est comprise entre 0 et 10 à 15 m. Le cours aval de l'Aron et ses affluents dans ce secteur se situent à une altitude inférieure à cette interface et recoupent donc, approximativement en aval du lieu-dit « La rivière », la zone fissurée altérée du granite.

A l'Est immédiat de Marcellé la Ville, il est probable que l'altitude de l'interface altérites/socle s'abaisse, compte tenu de la présence de la faille qui a permis le dépôt et la préservation des sédiments éocènes (Figure 3). Dans ce secteur, il est possible que les altérites et les sédiments éocènes sus-jacents présentent une épaisseur de l'ordre de la cinquantaine de mètres (la présence de forages miniers de recherche de manganèse suggère en effet que le profil d'altération pourrait ne pas avoir été érodé dans ce secteur). La présence de ces sédiments suggère que les processus d'altération sont d'âge éocène ou ante-éocène.

La partie Est du bassin versant semble présenter une structure plus complexe. Il est probable que les hauts reliefs correspondent à des témoins de paléosurfaces plus anciennes que celle de la partie ouest du bassin. Ceci expliquerait l'hétérogénéité apparente des altitudes de l'interface altérites/socle.

Ces éléments permettent première une caractérisation, grossière, de la géométrie du réservoir que constituent les altérites et la zone fissurée-altérée sous jacente.

¹ Les deux valeurs mesurées à l'extrême ouest du bassin peuvent être considérées comme douteuses dans l'état actuel des connaissances : la première - 100 m - constitue, s'agissant d'une observation sur un affleurement, une évaluation par défaut de l'altitude de l'interface ; la seconde - 107 m, valeur recueillie au sein d'un forage situé en fond de vallée, peut éventuellement être liée à une confusion entre l'altitude de l'interface et celle de la limite entre formations superficielles et substratum rocheux dans une zone où les altérites ont été complètement érodées.

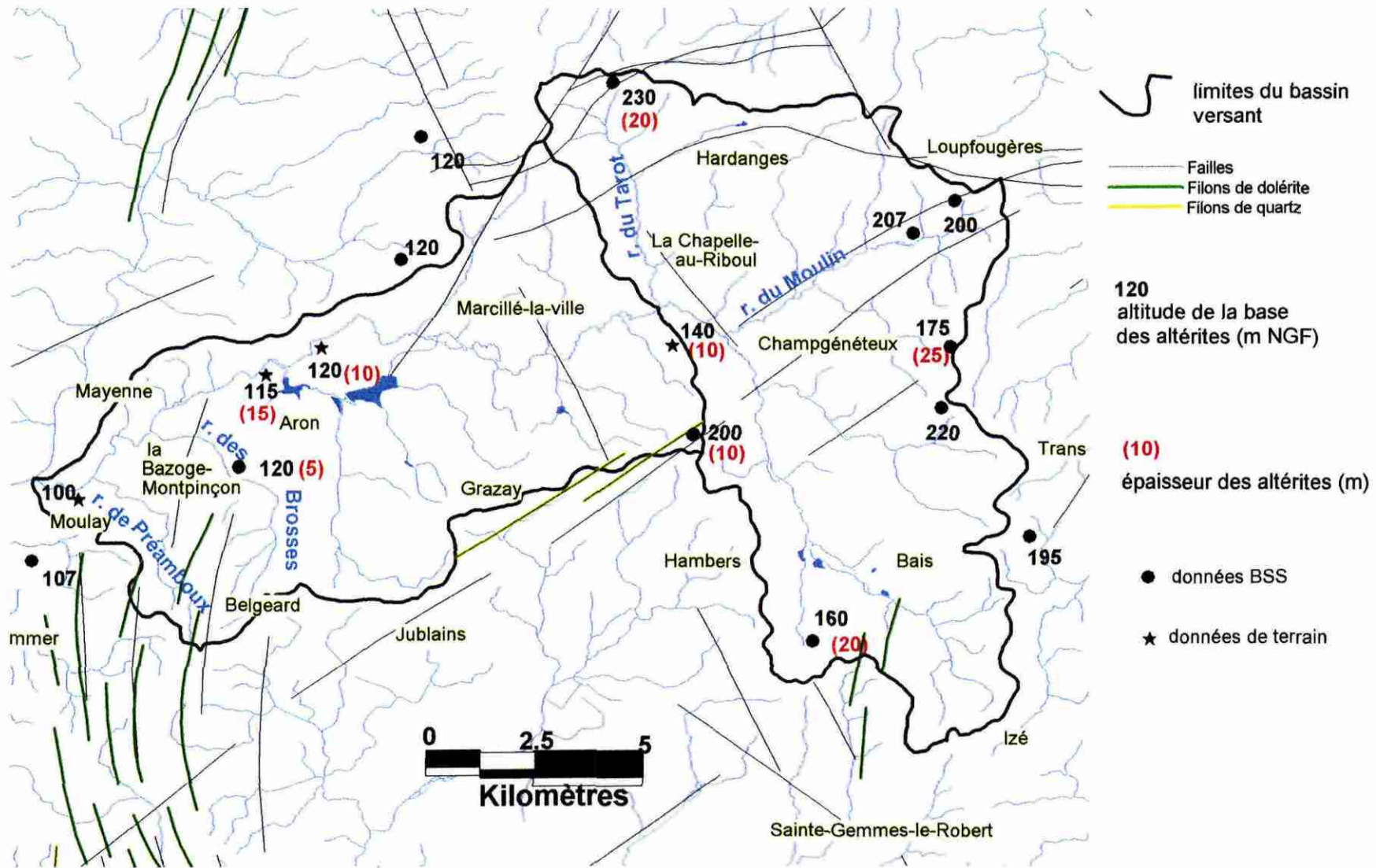


Figure 5: Altitude de la base des altérites et épaisseur des altérites sur le bassin versant de l'Aron

2.3.1.2.2. Propriétés hydrodynamiques

Aucune donnée sur la conductivité hydraulique de ces milieux (perméabilité), ni sur leur porosité n'est disponible au sein des dossiers BSS concernant les ouvrages réalisés sur le bassin versant. Les débits en fin de foration (débits au soufflage) ne préjugent pas des débits d'exploitation à long terme mais peuvent néanmoins donner un ordre de grandeur des conductivités hydrauliques, au moins à l'échelle locale, celle du forage.

Pour le bassin versant de l'Aron, vingt et un ouvrages (forage ou sondage) sont identifiés dans la banque du sous-sol (BSS, Figure 6). Sur ces points, des mesures de débit en fin de foration ont été effectuées et sont présentées ci-après en fonction de la lithologie des terrains recoupés par les forages.

Sédiments éocènes :	0 à 2 m ³ .h ⁻¹ ;
Altérites argilo-sableuses	0 à 1 m ³ /h ⁻¹ ;
Granites :	16 à 70 m ³ /h ⁻¹ ;
Schistes :	2 à 12 m ³ /h ⁻¹ .

Ces résultats confirment que les formations du substratum granitique ou schisteux (zone fissurée-altérée et socle fracturé) présentent, comme ailleurs en Bretagne et dans le monde, une meilleure perméabilité que celle de leur couverture d'altération et, dans le cas du bassin versant de l'Aron, une meilleure perméabilité que celle des sédiments argilo-sableux sus-jacents, qui résultent, il est vrai, d'une remobilisation de ces mêmes altérites.

Les roches granitiques semblent, en moyenne, montrer une meilleure perméabilité que les schistes. Ces derniers présentent néanmoins des propriétés hydrodynamiques suffisantes pour être exploités pour l'alimentation en eau potable (forages à l'Ouest de Bais).

Les arènes granitiques présentent en général une perméabilité de l'ordre de 10⁻⁵ m.s⁻¹, relativement peu variable spatialement. A l'opposé, leur substratum fissuré et/ou fracturé montre une très forte variabilité de ses propriétés de perméabilité (milieu considéré comme discontinu) ; celle-ci pouvant varier entre moins de 10⁻¹⁰ m.s⁻¹ au sein de la matrice rocheuse et des valeurs relativement fortes (>10⁻³ m.s⁻¹ par exemple) au droit de certaines fissures et fractures. Seule une faible part de ces fissures et fractures peut être considérée comme aquifère. Au sein de chacun de ces plans de fractures les écoulements sont en général "chenalisés" au droit des zones les plus perméables du plan de fracture ou de fissure.

Il n'existe aucune donnée sur les porosités efficaces des roches cristallines altérées du bassin versant de l'Aron, qui constituent (cf. § 2.3.1.1.) la partie capacitive du système aquifère. Cependant, des mesures de teneurs en eau par méthode de Résonance Magnétique Protonique (RMP) ont été réalisées récemment sur des granites à biotite du Finistère qui présentent un âge et une pétrographie similaires à ceux des granites du bassin versant de l'Aron (Wyns, communication personnelle). Les mesures de teneurs en eau obtenues grâce à cette méthode géophysique qui intègre le sous-sol sur une centaine de mètres de diamètre ne sont pas l'équivalent direct de porosités efficaces. Elles donnent néanmoins une limite supérieure à cette porosité (la porosité efficace

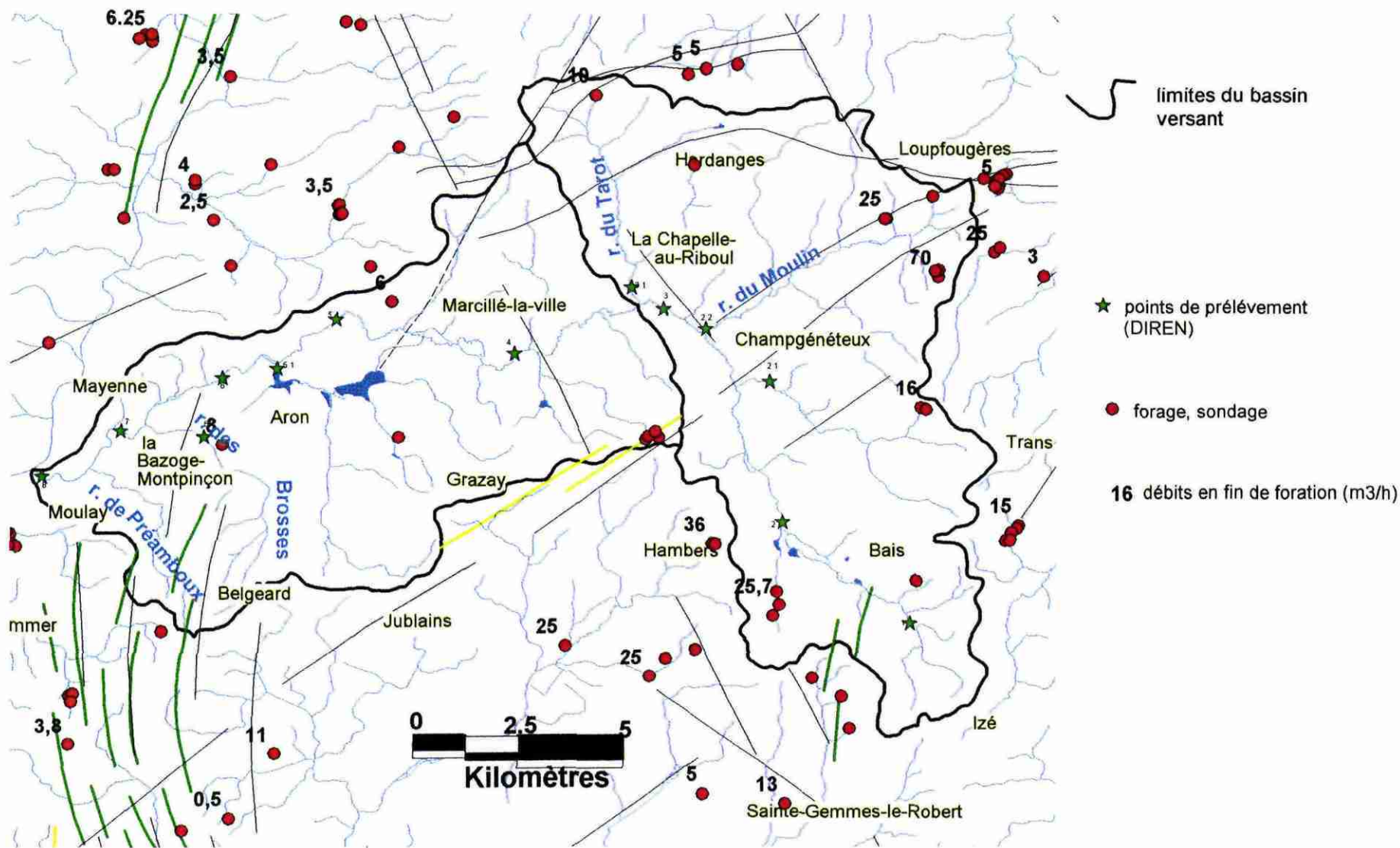


Figure 6: positions des ouvrages et débits de fin de foration

traduisant la quantité d'eau mobilisable pour l'écoulement, elle est comprise entre zéro et la teneur en eau d'un matériau saturé).

Au sein des granites à biotite du Finistère :

- les altérites présentent des teneurs en eau comprises entre 4% et 6% ;
- la zone fissurée-altérée peut-être séparée en deux parties :
 - sur une épaisseur de 15 m environ sous l'interface altérites/zone fissurée-altérée, les teneurs en eau sont comprises entre 0.5% et 4%,
 - puis, sur une tranche sous-jacente d'une épaisseur d'une quarantaine de mètres, les teneurs en eau sont de l'ordre de 0.2% à 1.7%.

2.3.1.2.3. Piézométrie

Les renseignements concernant la profondeur du niveau piézométrique sur le bassin versant sont peu nombreux (Figure 7). Ils ne permettent pas d'établir une carte piézométrique à l'échelle de celui-ci.

Néanmoins, à l'image de ce qui est classiquement observé en domaine de socle en régions tempérées, le niveau piézométrique semble, en tout point du bassin versant, relativement proche de la surface du sol. Ceci est logique compte tenu de la perméabilité modeste du substratum plutonique et métamorphique et de la pluviométrie efficace relativement forte qui caractérise cette région.

Les valeurs de profondeur du niveau piézométrique disponibles en BSS (Figure 7) sont comprises entre 0.7 m et 9 m (moyenne 3,2 m). Logiquement, la seule valeur dépassant 5 m se situe dans un secteur de reliefs importants où le cours d'eau est encaissé, ce qui suggère un fort drainage de la nappe par celui-ci. Par ailleurs, les nombreuses éoliennes observées sur le bassin, y compris dans les zones de plateaux, constituent un élément indirect de confirmation de la faible profondeur du niveau piézométrique.

2.3.1.2.4. Conclusion

Ces éléments confirment, à l'image de ce qui est observé au sein de la majorité des régions de socle, que les cours d'eau du bassin versant de l'Aron doivent majoritairement assurer, même à l'échelle du chevelu de tête de bassin versant, un rôle de drainage des eaux souterraines. Le débit d'étiage des cours d'eau doit donc être essentiellement le produit du drainage des aquifères. Au sein de ceux-ci, les directions d'écoulements des eaux souterraines se font donc quasi exclusivement des points hauts vers les cours d'eau. De ce fait, ses écoulements du cours d'eau vers l'aquifère (rivière alimentant l'aquifère) doivent être exceptionnels sur le bassin versant en régime d'écoulement normal (hors périodes de crues).

Par voie de conséquence, le bassin versant souterrain doit relativement bien coïncider, à quelques dizaines ou centaines de mètres près, avec le bassin versant topographique du cours d'eau.

Par ailleurs, en prenant en compte, sur l'ensemble du bassin versant de l'Aron, une épaisseur mouillée comprise entre 10 m et 20 m de formations de type « altérites » ou « zone fissurée-altérée », d'une porosité efficace voisine de 4% (cf. § 2.3.1.2.2.), l'ordre de grandeur du volume d'eau stockée sur le bassin versant de l'Aron peut être estimé

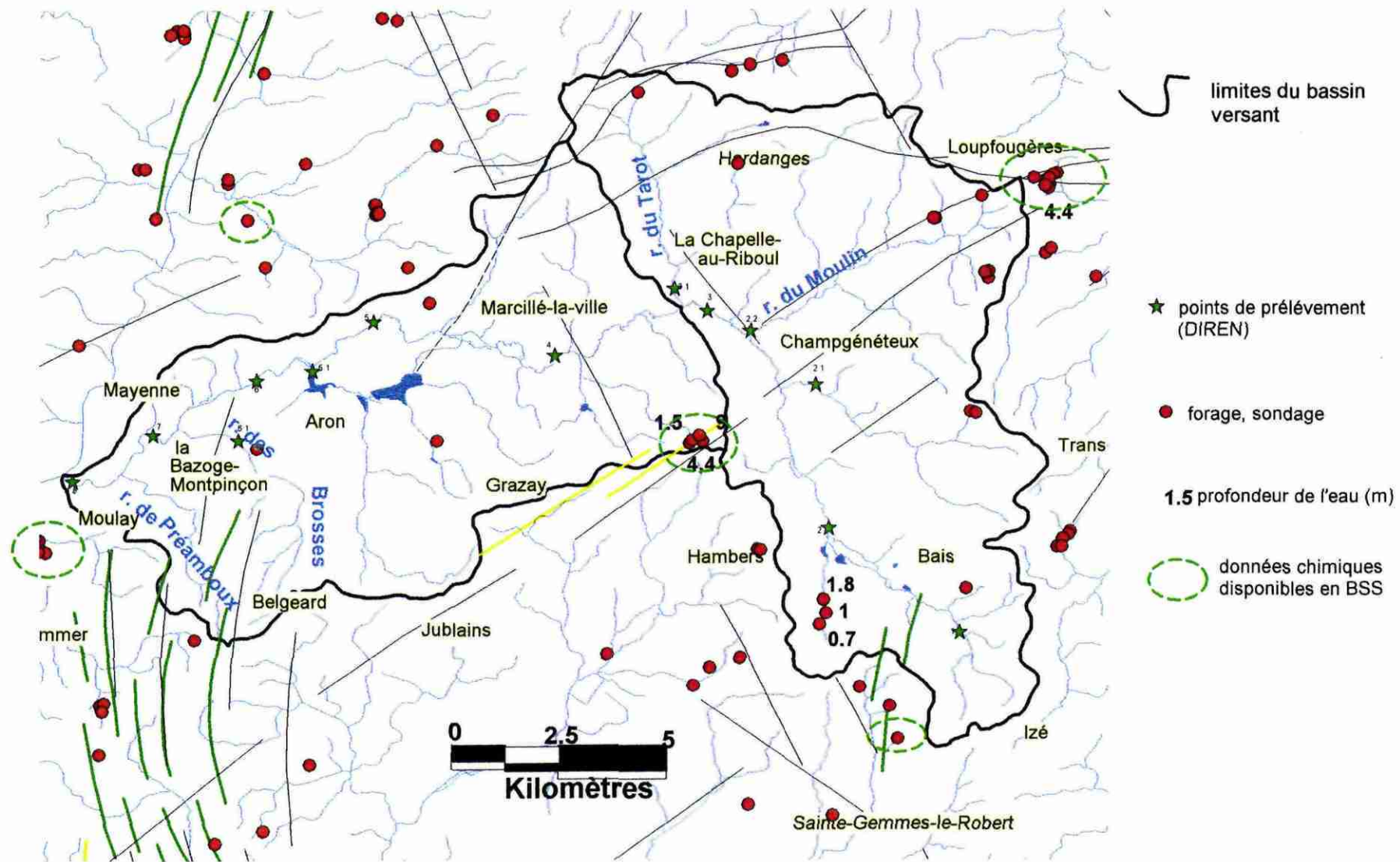


Figure 7: positions des ouvrages et profondeur de l'eau

entre 75 et 150 Mm³. Une partie de ce stock est renouvelée chaque année, par drainage vers les cours d'eau et par infiltration d'une part des précipitations efficaces.

2.3.2. Formations sédimentaires

Les formations sédimentaires occupent une part limitée de la superficie du bassin versant (Figure 2). En outre elles présentent une faible épaisseur (quelques mètres à quelques dizaines de mètres tout au plus).

2.3.2.1. Eocène - Oligocène

Le rôle hydrogéologique des grès qui constituent les formations éocènes et oligocènes doit être très similaire, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, à celui des altérites (1) avec lesquelles ils présentent une quasi identité de faciès et (2) sur lesquelles ils reposent en général directement.

En première approche, il pourra donc être considéré que les formations éocènes et oligocènes jouent un rôle capacitif semblable à celui des altérites des granites. Leurs propriétés hydrodynamiques doivent donc en être proches (perméabilité médiocre, porosité efficace de l'ordre de quelques pour-cent).

2.3.2.2. Pliocène - Pléistocène

Les alluvions de la paléo Mayenne se situent actuellement dans un contexte topographique de « plateau », suite à l'enfoncement récent de la Mayenne et de ses affluents, qui recourent largement leur substratum. Il est donc probable que ces formations constituent de petits aquifères perchés, drainés par des sources à faible débit ou des zones de suintement situées à flanc de coteau.

Compte tenu de sa répartition spatiale au sein du bassin versant, cette formation est susceptible de contribuer, modestement, au débit des affluents rive droite de l'Aron, uniquement dans la partie la plus aval du cours d'eau (Figure 2). Cet aquifère potentiel ne semble être nulle part en relation directe avec le cours principal de l'Aron.

2.3.2.3. Quaternaire

Les paramètres hydrodynamiques des alluvions du bassin versant de l'Aron ne sont pas connus. Ces formations présentent vraisemblablement des propriétés hydrodynamiques moyennes à bonne, à l'image des formations alluviales connues par ailleurs dans un contexte géologique similaire (faciès de type sables et graviers et limons : perméabilités comprises entre 10⁻³ et 10⁻⁵ m.s⁻¹).

Des échanges nappe - rivière sont donc possibles avec cette formation alluviale. Néanmoins, ces échanges doivent être limités en volume compte tenu de la faible extension de ces formations qui ne doivent pas apporter de soutien significatif au débit d'étiage au delà de quelques jours ou quelques semaines après les périodes de crues.

2.4. HYDROCHIMIE

Compte tenu des faibles vitesses d'écoulement des eaux souterraines au sein des aquifères, celles-ci ne véhiculent pas de matières en suspension. Elles se caractérisent donc essentiellement par leur contenu en éléments dissous ou minéralisation.

2.4.1 Caractérisation chimique des eaux souterraines du bassin versant de l'Aron

Dans le bassin versant de l'Aron, très peu de données concernant la chimie des eaux souterraines du bassin versant sont disponibles ; elle ne permettent en outre que de caractériser les éléments majeurs de la minéralisation, seuls analysés en routine.

Lors de la mise en place de piézomètres dans ou à proximité du bassin versant, quelques analyses chimiques ont été effectuées sur les eaux souterraines. Ces analyses ne sont pas complètes dans la mesure où elles ne concernent pas tous les éléments majeurs en solution (mesures effectuées : pH, temp, TAC, Chlorures, Nitrates, Nitrites, Ammoniaque, Fer, examens bactériologiques). Néanmoins, les analyses des eaux souterraines des arènes granitiques présentent un faciès relativement homogène et ces eaux sont décrites comme étant "agressives, de minéralisation peu accentuée et présentant des taux de Fer souvent supérieurs à la norme (0.2 mg.l⁻¹)". Ponctuellement, des teneurs élevées en nitrates (>50 mg.l⁻¹) sont observées. Le tableau 1 présente la synthèse des résultats des analyses chimiques disponibles dans la banque du sous-sol.

Dans différents bassins versants de Bretagne, de type géologique similaire à celui de l'Aron, ces pollutions azotées ont fait l'objet d'études chimiques particulières. L'utilisation des isotopes de l'azote (rapport isotopique ¹⁵N/¹⁴N) et du bore (¹¹B/¹⁰B) permet de déterminer les sources de ces nitrates, qu'elles soient d'origine naturelle (minéralisation du sol) ou anthropique. Pour ces dernières, ces méthodes permettent également de discriminer leurs différentes origines : lagunages, lisiers de porcs, fientes de volailles, fumiers de bovins, engrais, effluents domestiques diffus... (rapport Chery *et al.*, 2000).

Notons de plus que des phénomènes de **dénitrification naturelle** peuvent avoir lieu dans les eaux souterraines (Pauwels *et al.*, 2000 ; Martelat *et al.*, 1997). Particulièrement active en contexte de schistes, cette dénitrication s'accompagne généralement d'une augmentation des teneurs et en fer et en sulfates.

2.4.2. Relations entre environnement géologique et concentrations naturelles en métaux dans les eaux souterraines

En l'absence de données concernant la chimie des eaux souterraines, l'exploitation de la banque de données concernant la chimie des roches peut s'avérer très fructueuse. Des études sur le thème des liens éventuels entre les concentrations naturelles en métaux dans les eaux souterraines et l'environnement géologique ont été menées à la demande du Ministère de la Santé (rapports BRGM R38398 et R39544).

No BSS	Commune	Type sous-sol	pH	Cond. Elec. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	T. ($^{\circ}\text{C}$)	Dureté ($^{\circ}\text{F}$)	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	Cl^{-} (mg.l^{-1})	NH_4^{+} (mg.l^{-1})	NO_3^{-} (mg.l^{-1})	Fe^{2+} (mg.l^{-1})	SO_4^{2-} (mg.l^{-1})
285-8x-10	Hambers	Arène granitique	6.99	269		9.60	13.92	20.5	<0.002	11.5	1.10	13.0
285-8x-11	Hambers	Arène granitique	6.44	321		9.04	3.74	31.8	<0.002	70.5	0.58	9.0
285-8x-12	Hambers	Arène granitique	6.45	308		7.28	4.69	24.9	<0.002	60.5	5.70	12.0
285-8x-13	Hambers	Arène granitique	6.37	161		4.14	2.32	19.4	<0.002	21.5	0.71	6.0
286-1x-20	Loupfougères	Granite	4.70	204			0.70	23.0	0.09	64.0	0.02	<1
286-1x-21	Loupfougères	Granite	4.96	268			1.00	30.0	0.11	104.0	0.04	<1
286-1x-22	Loupfougères	Granite	4.96	200			1.50	24.0	0.12	50.0	0.14	<1
286-1x-23	Loupfougères	Granite	5.46	256			1.00	76.0	0.15	9.0	0.01	<1
285-3x-6001	Champéon	Sédiments éocènes	5.74			3.00				3.0	0.44	
285-3x-6001	Champéon	Sédiments éocènes	5.54			6.00				18.0	0.38	
285-5x-0014	Moulay	Arène granitique	6.30	351				32.7	0.02	78.7	2.00	20.5
285-5x-0015	Moulay	Arène granitique	5.90	290				34.3	<0.02	49.5	0.33	5.7
285-5x-0016	Moulay	Arène granitique	7.25	249				5.4	0.26	6.6	2.71	23.0
285-5x-0017	Moulay	Arène granitique	6.30	363				47.0	<0.02	49.3	2.55	20.5
285-5x-6002	Aron	Arène granitique	7.10					28.0	0.00	<2	0.26	
320-4x-7	Evron	Schistes	7.56	575	13.10		31.10	42.00		8.0		

Tableau 1: analyses de chimie des eaux disponibles dans la banque du sous-sol pour le bassin versant de l'Aron

Les résultats obtenus montrent que certaines données géochimiques recueillies dans le cadre de l'inventaire minier national (prélèvements d'échantillons de sol ou de sédiments du lit vif des cours d'eau) peuvent se révéler très utiles pour définir les zones à risque pour des concentrations en métaux lourds dans les eaux souterraines. En effet, les régions d'anomalies géochimiques en sols correspondent bien aux zones où se rencontrent des eaux à concentrations excédant les normes ou les valeurs-guides pour des éléments tels que le zinc, le baryum, l'arsenic et l'antimoine (rapport BRGM R40448).

A titre indicatif, des seuils guides ont été proposés pour les différents métaux. Ces valeurs ne sauraient en aucun cas se substituer à des normes, mais peuvent constituer des seuils d'alerte intéressants. Elles sont les suivantes :

- Zones où As sols > 300 ppm, risques pour les eaux AEP pour une concentration maximale admissible (cma) en As de 50 µg/l ;
- Zones où As sols > 60 ppm, risques pour les eaux AEP pour une cma en As de 10 µg/l (nouvelles normes européennes) ;
- Zones où Ba sols > 1000 ppm, risques de teneurs élevées en Ba pour les eaux AEP peu sulfatées ($SO_4 < 20$ mg/l) ;
- Zones où Sb sols > 40 ppm, risques pour les eaux AEP pour une cma en Sb de 10 µg/l.

La figure 8 représente le bassin versant de l'Aron ainsi que les différents points d'échantillonnage de la chimie des sols. Ces données ne concernent que la partie Est du bassin versant et ce point peut être considéré comme un élément positif dans la mesure où il indique que les prospecteurs miniers considèrent le bassin versant comme une zone peu favorable du point de vue de ses minéralisations en métaux (celles-ci se mettent en place préférentiellement au niveau des zones de contact granite-encaissant métamorphique). Néanmoins, des minéralisations diffuses, aux effets similaires à ceux de minéralisations plus concentrées, ne peuvent être exclues.

Sur le bassin versant de l'Aron les concentrations en As, Ba, Sb, Zn et Pb au sein des sols se répartissent comme suit :

- 20 ppm < As < 40 ppm excepté 67 ppm en un seul point (bassin versant amont de l'Aron). Il est donc peu probable que les eaux souterraines présentent des teneurs en As dépassant les normes actuelles de potabilité (10 µg/l) (il est notable que cette forte valeur se situe à proximité du contact schistes/granite) ;
- 100 ppm < Ba < 400 ppm les risques vis à vis de cet élément sont donc également faibles ;
- 10 ppm < Sb < 42 ppm quelques valeurs supérieures à 40 ppm, donc pouvant être à l'origine de teneurs excessives dans les eaux, sont rencontrées dans le même secteur que pour les valeurs anormalement élevées en As ;
- 59 ppm < Zn < 185 ppm ;
- 13 ppm < Pb < 45 ppm.

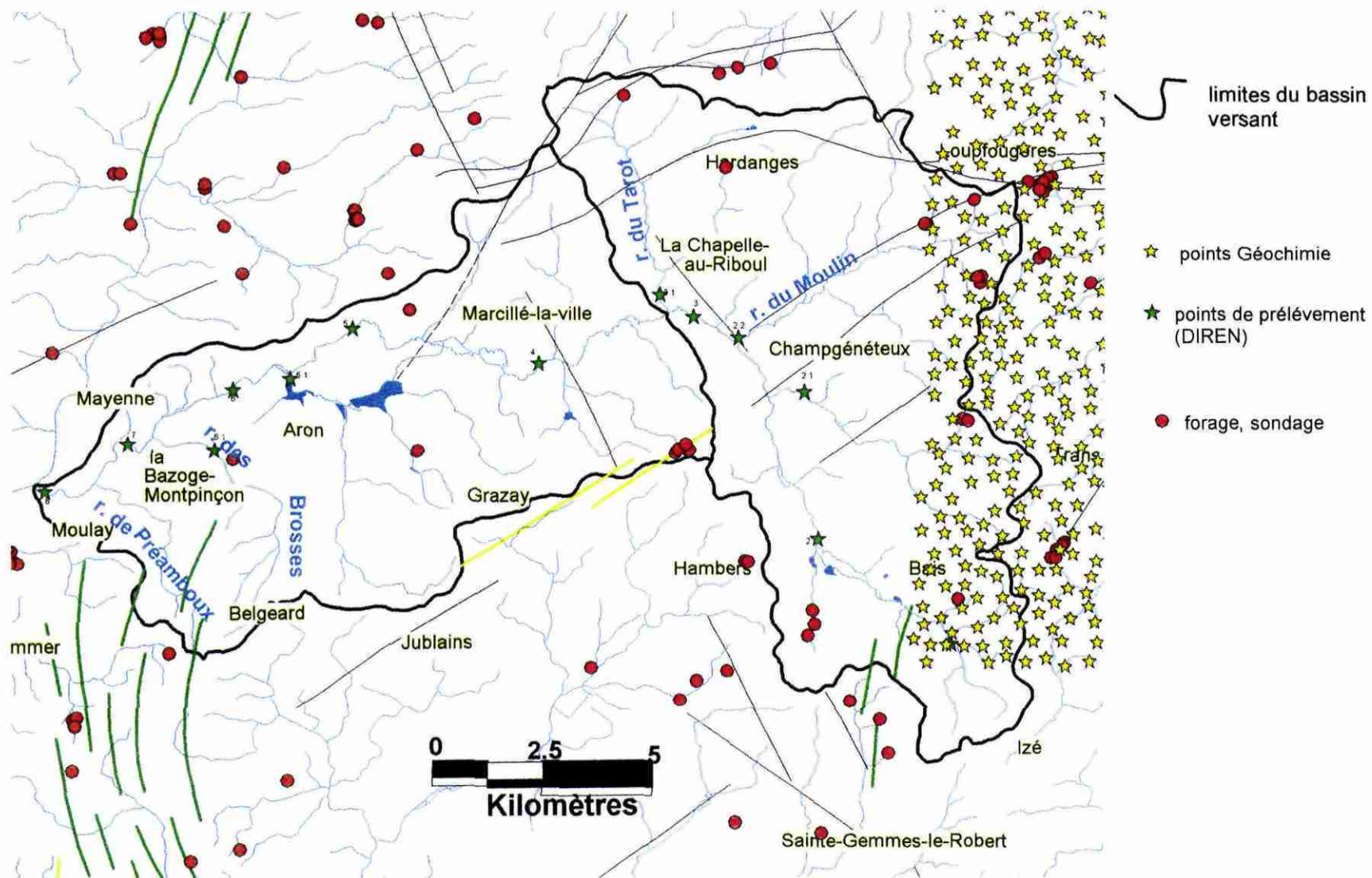


Figure 8: positions des ouvrages et analyses géochimiques

En résumé, la probabilité d'occurrence de fortes teneurs en métaux au sein des eaux souterraines semble relativement limitée sur le bassin versant de l'Aron. Les zones de fractures anciennes et de contacts granite/schistes peuvent être considérées comme les plus exposées.

3. Typologie prévisionnelle des sous-bassins versants DIREN

Le travail de caractérisation hydrologique quantitative et qualitative effectué par la DIREN pourra être interprété en tenant compte de la structure (géologique et hydrogéologique) ainsi que de la taille des sous-bassins versants de l'Aron. Le tableau 2 propose une première typologie des sous-bassins versants (par numéro de prélèvement DIREN) et pourra servir d'orientation pour l'interprétation des données de débit et de chimie des eaux de surface à l'étiage.

Tableau 2 Description des sous-bassins versants DIREN de l'Aron

Numéro	Lithologie	Taille	Morphologie	Epaisseur des arènes	Risques d'excès en métaux
1	Schistes >80%	Petite	Amont, fort reliefs	Potentielle ment forte	***
2	Schistes >80%	P	Amont, fort reliefs	Pot. Forte	***
2.1	Granites	P	Amont, fort reliefs	Pot. Forte	
2.2	Schistes 90% + Séd. protérozoïques 10%	P	Amont, fort reliefs	Pot. Forte	
3	Granites > Schistes >> Séd. Protérozoïques	Grande	Amont, fort reliefs		***
3.1	Séd. Protérozoïques 60% + granites 40%	P	Amont, fort reliefs	Pot. Forte	
4	Granites 60% + schistes 20% + séd. Protérozoïques 20%	G	Aval, relief modéré		*
5	Idem 4 + séd tertiaires et quaternaires	G	Aval, relief modéré		
5.1	Idem	G	Aval, relief modéré		
6	Idem	G	Aval, relief modéré		
6.1	Granites	P	Aval, relief modéré	Faible	
7	Idem 6	G	Aval, relief modéré		
8	Idem 6	G	Aval, relief modéré		

Dans un premier temps il convient de noter que les points de prélèvement DIREN concernent des sous-bassins de superficie notablement contrastée (six petits sous-bassins de "tête" et sept sous-bassins de taille plus importante). Les petits sous-bassins, à la géologie relativement homogène, sont chacun représentatifs d'une lithologie particulière (à l'exception du 3.1) et peuvent présenter, à l'étiage, une signature géochimique inféodée aux terrains qu'ils drainent, ce qui n'est pas le cas des grands sous-bassins.

L'épaisseur saturée des altérites est un paramètre qui pourra être pris en compte pour l'interprétation des débits d'étiage. Le rôle capacitif des altérites est, en effet, lié à leur épaisseur, celle-ci étant variable à l'échelle du bassin versant. Il est à noter que cette épaisseur est maximale à l'Ouest immédiat de la faille normale de Marcillé/Hambers (cf. figure 3). Ce secteur est donc potentiellement un élément intéressant du point de vue des débits d'étiage.

Sur l'ensemble du bassin versant de l'Aron, la différence morphologique amont / aval est un élément dont il faut tenir compte car il peut avoir des conséquences sur les modalités de drainage des aquifères et donc sur le soutien des étiages (épaisseur des altérites, surcreusement des vallées). La partie amont du bassin versant de l'Aron présente en effet une morphologie beaucoup plus marquée que sa partie aval. En l'état actuel des connaissances, il est impossible de préciser si la position amont ou aval des sous-bassins versants est un facteur positif ou négatif sur le plan quantitatif (débit spécifique d'étiage) ou qualitatif (signature plus ou moins marquée du compartiment des altérites par rapport aux compartiments plus profonds). En tout état de cause, il est probable que les pollutions d'origine anthropique perturbent significativement la partie qualitative de cette analyse.

Concernant les risques de concentrations importantes en métaux lourds dans les eaux souterraines, les sous-bassins de "tête" situés à proximité du contact granite/schistes sont concernés potentiellement les plus exposés (sous-bassins 1, 2 et 3). Dans une moindre mesure, le sous-bassin 4 peut aussi être sujet à des concentrations naturellement élevées en métaux lourds car il rassemble les eaux des sous-bassins 1, 2 et 3, sans dilution importante.

Conclusions

Ce travail constitue une première étape dans la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du bassin versant de l'Aron. Ce bassin versant, dont le sous-sol est majoritairement composé de formations de socle (roches plutoniques et métamorphiques à dominante granitique) a une superficie de 186 km². Compte tenu de leur position morphologique et de leur extension, les formations d'altération (altérites et zone fissurée altérée) qui sont relativement bien conservées, jouent un rôle majeur quant à l'hydrogéologie du bassin versant. A l'image de ce qui est observé au sein de la majorité des régions de socle, le cours d'eau assurent le drainage des aquifère, même à l'échelle du chevelu de tête de bassin versant. Dans la partie formée d'altérites, le volume d'eau stocké est estimé à 75 à 150 Mm³.

Les formations sédimentaires occupent une part limitée de la superficie du bassin versant et, en outre, elles présentent une faible épaisseur. Bien qu'elles possèdent des propriétés hydrodynamiques que l'on peut qualifier de moyennes à bonnes, leur faible extension spatiale ne leur permet pas d'apporter un soutien significatif au débits d'étiages.

Les données chimiques disponibles dans la BSS sont peu nombreuses mais permettent cependant de caractériser les eaux souterraines des formations d'altération. Ces eaux sont peu minéralisées, mais présentent ponctuellement des teneurs en fer importantes (ces concentrations importantes peuvent être le résultat de phénomènes de dénitrification naturelle qui ont lieu au sein du bassin versant).

Une analyse de la chimie des sols permet d'avoir un aperçu des zones à risques pour des métaux lourds dans les eaux souterraines. Celles-ci se situent essentiellement dans la partie sud-est du bassin versant, dans les zones de contacts granites/schistes.

Références bibliographiques

Géologie

Chantraine J., Rabu D. et Giot D ; 1998 ; Carte géologique numérisée des Pays de la Loire à 1/250 000 ; BRGM ; Version 0.3.

Bonnet S ; 1997 ; Tectonique et dynamique du relief : le socle armoricain au Pléistocène ; Thèse de l'Université de Rennes I ; 348 pages.

Milon Y., Berthois L. et Giret L. ; 1965 ; Carte Géologique de "Mayenne" à 1/80 000 ; BRGM ; seconde édition.

Wyns R. ; 1991 ; "L'utilisation des paléosurfaces continentales en cartographie thématique probabiliste" ; Géologie de la France ; n°3 ; pp. 3-9.

Wyns R ; 1991 ; "Evolution tectonique du bâti armoricain oriental au Cénozoïque d'après l'analyse des paléosurfaces continentales et des formations géologiques associées" ; Géologie de la France ; n°3 ; pp. 11-42.

Wyns R., Baltassat J.-M., and Legchenko A. 2000. Application of SNMR Soundings for GroundWater Resources Mapping in weathered basement rocks (Brittany, France) (Submitted in 1999). *Journal of Applied Geophysics* no. Special Issue on SNMR.

Wyns R., Gourry J.-C., Baltassat J.-M., and Lebert F. 1999. Caractérisation multiparamètres des horizons de subsurface (0-100 m) en contexte de socle altéré. *2ème Colloque GEOFCAN*, I. BRGM, IRD, UPMC, 105-110. Orléans, France.

Hydrogéologie

Arnault P. ; 1993 ; "Catalogue des périmètres de protection autour des captages d'alimentation en eau publique" ; Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt.

Courtois N. ; 1999 ; "Ressources en eaux souterraines en zone de socle de la Vendée-Aspects quantitatifs" ; BRGM 99D422/R40830.

Duermel G. ; 1997 ; "Ressources en eau profonde de qualité et dénitrification naturelle en Mayenne" ; BRGM 97J205/R39643.

Géochimie

Barbier J., Chery L. 1999 – Origine des éléments indésirables ou toxiques dans les eaux souterraines. Réalisation d'un inventaire national et essai d'identification de l'origine des teneurs anormales. Rap. BRGM R 40448, 62 p., 3 fig., 2 tabl., 1 ann.

Chery L., Gateau C., 1998 – Mise à disposition de l'Inventaire Géochimique sur le territoire national (pour identifier les zones à risques de teneurs naturelles élevées en métaux lourds dans les eaux destinées à l'AEP). Rapport BRGM R40207, 27 p., 2 fig., 3 tabl., 111 cartes A3 hors texte, 1 CD ROM.

Chery L., Talbo H., Jegou J.P., Brach M.- BRGM ; Bonnin J., Plancard D. - Cooperl-Hunaudaye ; Rochdi-Ghandour H. - AINF, 2000 – Apport de l'hydrogéochimie isotopique à la connaissance des sources de pollution azotée sur un site du bassin versant de l'Arguenon (Côtes d'Armor). Rapport BRGM/RP 40911- -FR, 83 p., 14 fig., 5 tabl., 3 annexes.

Martelat A., Foucher J.C., Lachassagne P. et Pauwels H.; 1997; Processus de dénitrification au sein d'un aquifère de socle (schistes à pyrite) : caractérisation du fonctionnement hydrogéochimique à l'échelle locale, dans le cadre d'un petit bassin versant breton. IAHS Publ. N°241.

Pauwels H., Lachassagne P., Bordenave P., Foucher J.C. et Martelat A., 2000, Temporal variability of nitrate concentration in a schist aquifer and transfer to surface waters. Applied Geochemistry (sous presse).

BRGM
SERVICE EAU
Unité RMD

BP 6009 - 45090 Orléans cedex 2 - France - Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34