

Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne (projet ICARE)

Rapport final

BRGM/RP-70336-FR

Janvier 2021



Établissement public du ministère chargé du développement durable



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne (projet ICARE)

Rapport final

BRGM/RP-70336-FR

Janvier 2021

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)
de Service public du BRGM AP18REN007

A. Boisson, F. Lucassou

Avec la collaboration de

J.-M. Schroëtter, B. Mougin

Vérificateur :

Nom : Delphine ALLIER

Fonction : Hydrogéologue

Date : 15/12/2020

Signature :



Approbateur :

Nom : Mélanie BARDEAU

Fonction : Directrice BRGM Bretagne

Date : 04/01/2021

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Mots-clés : eau souterraine, bassin sédimentaire, sables pliocènes, faluns miocènes, alimentation en eau potable, Bretagne, Ille-et-Vilaine, Morbihan, Côtes d'Armor

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

Boisson A., Lucassou F., avec la collaboration de. Schroëtter J.-M et Mougin B. (2021) – Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne (projet ICARE). Rapport final. BRGM/RP-70336-FR, 76 p., 43 ill., 2 ann., 1 volume séparé.

Synthèse

Les aquifères sédimentaires tertiaires représentent à l'échelle de la Bretagne une faible superficie en comparaison des aquifères de socle. Ils peuvent néanmoins représenter une ressource en eau souterraine potentielle importante en raison de leurs propriétés hydrodynamiques (perméabilité et emmagasinement) nettement plus favorables à l'exploitation d'eau que les aquifères de socle environnants.

Le projet ICARE (Identification et Caractérisation des Aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne) a été proposé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, l'Agence Régionale de la Santé, le BRGM, avec le soutien du Syndicat Mixte de Gestion de l'eau potable de l'Ille-et-Vilaine (SMG35), afin de fournir des éléments pour la délimitation de NAEP (Nappes réservées pour l'Alimentation en Eau Potable, listées dans l'orientation 6E du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021) et de Zones de Sauvegarde pour le Futur pour l'alimentation en eau potable (ZSF pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau), en complément du projet ANAFORE mené en parallèle sur les aquifères de socle bretons (Schroëtter et al., 2020), pour le SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027.

Ce projet cherche à combler les manques de connaissances actuels et à établir une quantification et une hiérarchisation du potentiel de ces ressources tertiaires, aussi bien pour les bassins actuellement exploités pour l'eau potable que pour ceux non identifiés et/ou exploités à ce jour, mais pouvant faire l'objet de prélèvements dans le futur.

Il apparaît que pour une majorité des bassins, les connaissances sur 1) les ressources disponibles et 2) le fonctionnement des bassins est limité.

Les bilans hydrogéologiques calculés sur l'ensemble des bassins indiquent que les taux d'exploitation sont bien souvent supérieurs aux taux de remplissages théoriques, sans que ceci n'induisse obligatoirement de surexploitation de la ressource. Ceci indique que pour une majorité de ces bassins des apports extérieurs importants existent. Ces apports peuvent venir des cours d'eau ou des apports par l'encaissant mais ils sont rarement quantifiés.

Ces observations induisent que, pour une majorité des bassins, notamment ceux de petite taille, le fonctionnement hydrogéologique de la ressource est de type drain\tampon. Dans ce contexte le bassin sert de zone exploitable au travers une zone localement perméable permettant l'exploitation de forages à forts débits, et, grâce à la porosité élevée (en comparaison des aquifères de socle encaissant), une réserve tampon permettant une accessibilité et un stock provenant en partie de l'extérieur du bassin. Cependant, les observations sur certains sites montrent que ce stock doit être dans une majorité des cas relativement faible et que ces ressources offrent une résistance limitée à la sécheresse.

24 bassins tertiaires ont été identifiés comme intéressants à proposer en NAEP et classés en priorité 1. En complément, 10 bassins non exploités mais sur lesquels peu de connaissances sont disponibles ont été classés en priorité 2 afin de recueillir des informations complémentaires.

Les investigations complémentaires menées sur des bassins non exploités ont montré que peu de nouveaux bassins semblent disponibles pour l'exploitation de nouvelles ressources en eau en Bretagne. Cependant, les observations sur le fonctionnement des bassins exploités et leur rôle de drain/tampon offre des possibilités a priori non exploitées. En effet, les recherches d'eau souterraine, qui ont été concentrées dans les années 70-80, se sont focalisées sur les bassins de tailles importantes. Or, avec l'évolution des connaissances sur les aquifères de socle, il semble

que des bassins de taille modérée, suivant des orientations N150 (directions identifiées dans le projet ANAFORE comme pouvant conduire l'eau et agir comme des drains), pourraient être étudiés comme nouvelles ressources, non pas en considérant uniquement le bassin en tant que tel mais comme une zone d'exploitation d'une ressource provenant de l'encaissant ou d'une ressource superficielle.

Le projet ICARE a permis de faire évoluer la connaissance et la compréhension des bassins tertiaires : même s'ils peuvent apparaître comme des objets géologiques bien délimités, au fonctionnement *a priori* plus simple que les aquifères de socle environnants, leur fonctionnement est rarement connu précisément et leurs relations avec le socle et les cours d'eau sont peu quantifiées. Sur une sélection de 13 bassins, des fiches descriptives détaillées ont été rédigées (volume séparé).

Ce projet a également mis en évidence des perspectives intéressantes d'exploitation de bassins de taille modérée.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Contexte géologique et hydrogéologique des bassins sédimentaires bretons	11
2.1. HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA BRETAGNE	11
2.1.1. Formation des bassins tertiaires et quaternaires (cénozoïques).....	13
2.1.2. Répartition des bassins.....	16
2.2. ENTITES HYDROGEOLOGIQUES.....	19
2.2.1. 113AF05 – Sables de L'Yprésien en Ille-et-Vilaine, Loire-Atlantique et Vendée	19
2.2.2. 113AF03 – Argiles sableuses du Lutétien en Bretagne et Pays-de-la Loire	19
2.2.3. 113AJ01 – Argiles sableuses du Bartonien-Rupélien en Bretagne et Pays-de-la-Loire	19
2.2.4. 113AC15 – Calcaires du Rupélien supérieur en Bretagne	20
2.2.5. 104AC08 – Faluns du Miocène moyen en Bretagne et Pays-de-la-Loire	20
2.2.6. 104AB01 – Sables du Pliocène en Bretagne et Pays-de-la-Loire.....	20
2.3. SUIVI PIEZOMETRIQUE DANS LES BASSINS SEDIMENTAIRES.....	22
2.4. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES.....	23
2.5. SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES BASSINS SEDIMENTAIRES.....	24
3. Recensement des bassins cénozoïques	25
3.1. METHODOLOGIE.....	25
3.2. EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU DES BASSINS SEDIMENTAIRES A L'ECHELLE REGIONALE	26
3.2.1. Synthèse des prélèvements destinés à l'eau potable dans les bassins tertiaires bretons.....	26
3.2.2. Evolution des prélèvements d'eau dans les bassins tertiaires entre 1995 et 2015	28
3.2.3. Saisonnalité des prélèvements	30
3.2.4. Captages d'eau potable	31
3.3. TAUX DE RENOUVELLEMENT ET FONCTIONNEMENT DES BASSINS EXPLOITES	32
3.4. BASSINS SEDIMENTAIRES NON EXPLOITES POUR LES RESSOURCES EN EAU	34
3.4.1. Méthodologie	34
3.4.2. Résultats.....	34

3.5. BASSINS SEDIMENTAIRES EXPLOITES POUR LES GRANULATS	35
4. Qualité chimique des bassins	39
4.1. ELEMENTS MAJEURS	39
4.1.1. Balance ionique	39
4.1.2. Faciès chimique	40
4.1.3. Composés azotés.....	44
4.1.4. Chlorures.....	45
4.1.5. Sulfates	46
4.2. AUTRES ELEMENTS.....	47
4.2.1. Fer.....	47
4.2.2. Manganèse	47
4.2.3. Fluorures	47
4.3. PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	47
4.3.1. Molécules quantifiées	47
4.3.2. Dépassement de la limite de qualité	48
4.3.3. Atrazine et métabolites	51
4.4. ELEMENTS INDESIRABLES	52
5. Bassins retenues pour la consultation sur les Nappes réservées à l’Alimentation en Eau Potable (NAEP).....	53
5.1. DEFINITION DES NAEP	53
5.2. CRITERES DE CHOIX	53
5.3. BASSINS SELECTIONNES.....	54
6. Quantification, fonctionnement et pressions sur une sélection de bassins	56
7. Conclusions	61
8. Bibliographie.....	65

Liste des illustrations

- Illustration 1 : Carte géologique au millionième de la Bretagne et failles associées, Eds BRGM12
- Illustration 2 : à gauche) Evolution paléogéographique du Bartonien au Langhien-Serravilien (modifié de Thomas par Bauer et al., 2016) et à droite) Localisation des paléocoastlines sur la topographie actuelle lors des transgressions marines depuis le Pliocène moyen (Armandine les Landes et al., 2015). 14
- Illustration 3 : Litho et chrono-stratigraphique du forage CDB1. Environnements de dépôt : 1 fluvial ; 2 : palustre à lacustre, 3 : lagon à marin fermé ; 4 : côtier à pleine mer..... 15

Illustration 4 : Localisation des bassins sédimentaires référencés dans la BDLISA (en bleu) et des sables rouges inventoriés dans le cadre du Schéma Régional des Carrières (SRC – en rouge) ; Schroëtter et al., 2017.....	16
Illustration 5 : Impact de la compression Nord-Sud (NS) sur la fracturation avec création de failles orientées N150 et N045. En haut - à l'échelle régionale (à gauche) et analogie entre le relief breton et le flambage du cylindre de roche (à droite) ; En bas - remplissage des grabens formés par des dépôts sédimentaires (Schroetter et al., 2020). ..	17
Illustration 6 : Répercussions de la fracturation sur la mise en place et la forme des bassins sédimentaires a) à l'échelle régionale et b) à l'échelle locale (informations BDLISA sur la commune de Pipriac). Les traits tiretés indiquent les directions N150.	18
Illustration 7 : Localisation des sables plio-quadernaires (en rouge) et limite altimétrique de présence (en vert).....	18
Illustration 8 : Ages, localisation, nature, codes et libellés des entités BD LISA sédimentaires de Bretagne	19
Illustration 9 : Relation ente les paléovallées pliocènes et les vallées actuelles (Brault, 2004)..	21
Illustration 10 : A) Affleurement de sables rouges – Antrain (35) ; B) Alternance de niveaux de graviers et de sables rouges – Penestin (56) (Schroëtter, 2017).....	22
Illustration 11 : Surfaces des formations sédimentaires référencées dans BD LISA en Bretagne	22
Illustration 12 : Evolution des cotes piézométriques (mNGF) des piézomètres du réseau national présent dans les bassins sédimentaire de Bretagne (en haut : Le Quiou (02812X0238/PZ) et en bas : Saint-Grégoire (03172X0088/PZ)) – source : ADES	23
Illustration 13 : Valeurs de perméabilité connues sur les bassins sédimentaires de Bretagne ..	24
Illustration 14 : Volume d'eau souterraine exploité dans les bassins tertiaires du SAGE Vilaine en 2001 (Talbo et al., 2001).....	26
Illustration 15 : Volumes d'eau souterraine prélevés pour l'eau potable entre 2016 et 2018 dans les bassins tertiaires exploités (classés par volume 2018 décroissant) NB : les productions d'eau des bassins de Landujan / Chapelle-du-Lou et de Médréac ont été regroupées.....	27
Illustration 16 : Evolution des volumes d'eau souterraines prélevés entre 2001 et 2018 sur les bassins tertiaires du SAGE Vilaine (données 2001 : Talbo et al., 2001 – données 2018 : SMG35 et Eau du Morbihan).....	28
Illustration 17 : Prélèvements d'eau souterraine dans les bassins sédimentaires à l'échelle régionale (données AELB).....	29
Illustration 18 : Répartition des prélèvements d'eau souterraine destinés à l'eau potable en Bretagne par type d'aquifère (données AELB, 2015)	29
Illustration 19 : Répartition des prélèvements d'eau souterraine destinés à l'eau potable en Ile-et-Vilaine par type d'aquifère (données SMG35, 2018).....	30
Illustration 20 : Evolution mensuelle des volumes prélevés dans les eaux souterraines sur 3 captages tertiaires entre 2012 et 2018 (données SMG35)	31
Illustration 21 : Captages AEP recensés sur les bassins tertiaires (ADES).....	32
Illustration 22 : Production, pluie efficace, surface, taux de renouvellement et ratio production / renouvellement sur les bassins exploités.	33
Illustration 23 : Caractéristiques des principaux bassins sédimentaires non exploités	35
Illustration 24 : Extrait du site InfoTerre avec localisation des sablières et des captages d'eau potable (fond IGN au 1/25 000)	36

Illustration 25 : Localisation des carrières et du captage d'eau potable de Pertu rouge à Radenac	37
Illustration 26 : Nombre de qualitomètres ADES par bassin	39
Illustration 27 : Représentation des faciès d'une eau sur un diagramme de Piper	41
Illustration 28 : Diagramme de Piper de l'ensemble des mesures disponibles par lithologie (balance ionique à $\pm 5\%$ maximum)	42
Illustration 29 : Diagramme de Piper des sables pliocènes par site (balance ionique à $\pm 5\%$ maximum)	43
Illustration 30 : Evolution des concentrations en nitrates sur le site de Mernel (BSS003EFZM/X)	44
Illustration 31 : Evolution des concentrations en nitrates sur les forages de Ville Bezy 02812X0213/F (Bassin du Quiou)	45
Illustration 32 : Evolution des concentrations en nitrates sur le forage 02812X0060/F du site Bleuquen (Bassin du Quiou)	45
Illustration 33 : Evolution des concentrations en nitrates et nitrites sur le site de Landujan (Forage Tizon 02816X0057/F)	45
Illustration 34 : Evolution principaux éléments chimiques dans le forage F2bis (BSS003EGXE) La Cité au Theil-de-Bretagne (en haut) et diagramme de Piper (en bas)	46
Illustration 35 : Taux de quantification des produits phytosanitaires sur les bassins tertiaires (molécules classées par ordre décroissant du nombre d'analyses).....	49
Illustration 36 : Nombre de qualitomètres avec dépassement de la norme de 0,1 $\mu\text{g/L}$ en pesticides pour les molécules quantifiées au moins 3 fois	50
Illustration 37 : Evolution des concentrations en atrazine et ses métabolites sur le bassin de Landujan Aucune donnée n'est disponible sur ces ouvrages pour les autres métabolites (Atrazine-2-hydroxy-desethyl et Atrazine-deisopropyl-desethyl). ..	51
Illustration 38 : Bassins exploités retenus pour la consultation publique sur les NAEP	55
Illustration 39 : Bassins non-exploités retenus pour la consultation publique sur les NAEP	55
Illustration 40 : Bassins sélectionnés pour des analyses complémentaires.....	56
Illustration 41 : Localisation des 13 bassins sélectionnés pour des analyses complémentaires	57
Illustration 42 : Synthèse des connaissances disponibles sur les 13 bassins étudiés dans le cadre du projet ICARE	59
Illustration 43 : Décomposition des chroniques de débit du Neal à Médréac avec en haut les données brutes et en bas les anomalies mensuelles (en noir) et anomalies lissées sur 12 mois (en rouge).....	75

Liste des annexes

Annexe 1 Liste des 68 bassins sédimentaires recensés.....	69
Annexe 2 Analyse de tendances - méthodologie	73

1. Introduction

Les aquifères sédimentaires tertiaires représentent à l'échelle de la Bretagne une faible superficie en comparaison des aquifères de socle. Ils peuvent néanmoins représenter une ressource en eau souterraine potentielle importante en raison de leurs propriétés hydrodynamiques (perméabilité et emmagasinement) nettement plus favorables à l'exploitation d'eau que les aquifères de socle environnants.

Dans l'objectif de délimitation de NAEP (Nappes réservées pour l'Alimentation en Eau Potable, listées dans l'orientation 6E du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021) et de Zones de Sauvegarde pour le Futur pour l'alimentation en eau potable (ZSF pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau), l'identification de plusieurs bassins tertiaires semble particulièrement intéressante en raison :

- d'extensions *a priori* plus facilement identifiables que celles des aquifères de socle,
- de ressources en eau souterraine plus importantes dans des emprises plus restreintes,
- d'une homogénéité hydrodynamique permettant une gestion plus aisée,
- d'un possible caractère captif pouvant limiter la vulnérabilité des aquifères par rapport aux apports anthropiques de surface.

Les bassins tertiaires ont été remplis au cours de l'Eocène, l'Oligocène, le Miocène et le Pliocène. En fonction de leurs âges, ces bassins ont des propriétés hydrodynamiques différentes.

Le projet ICARE (Identification et Caractérisation des Aquifères tertiaiREs et quaternaires stratégiques de Bretagne), proposé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, l'Agence Régionale de la Santé, le BRGM et avec le soutien du Syndicat Mixte de Gestion de l'eau potable de l'Ille-et-Vilaine (SMG35), cherche à combler les manques de connaissances actuels et à établir une quantification et une hiérarchisation du potentiel de ces ressources tertiaires, dans un objectif de définition des NAEP et des ZSF sur ces systèmes. Ce projet cherche à étudier aussi bien les bassins actuellement exploités que ceux non identifiés et/ou exploités à ce jour, mais pouvant faire l'objet de prélèvements dans le futur.

Le projet a permis de recenser 68 bassins tertiaires en Bretagne, dont 21 sont exploités pour l'alimentation en eau potable. Il a également fait un état des lieux de la situation des connaissances sur ces bassins exploités ainsi que les bassins non exploités. Cet état des lieux amène au constat d'une faible évolution des connaissances depuis les travaux des années 70-80 dans le cadre des prospections en eau potable.

2. Contexte géologique et hydrogéologique des bassins sédimentaires bretons

2.1. HISTOIRE GÉOLOGIQUE DE LA BRETAGNE

Le massif armoricain est un socle ancien qui correspond à deux chaînes de montagne majeures européennes. La première est liée à l'orogénèse de la chaîne cadomienne (750-520 millions d'années) qui est un événement compressif qui s'accompagne d'une production de roches plutoniques, volcaniques et volcano-sédimentaires. Il correspond au Nord de la Bretagne actuelle, depuis la baie de Lannion jusqu'à la baie du Mont-Saint-Michel. A cette orogénèse sont associées les directions structurales majeures orientées N070° de Bretagne septentrionale (Thomas, 1999). La fin de l'histoire cadomienne est marquée dans la partie Est par le dépôt d'une épaisse série sédimentaire, conséquence de l'érosion rapide de la chaîne cadomienne (les schistes du Briovérien) et d'intrusions magmatiques majeures comme la granodiorite de Fougères.

Avant la chaîne hercynienne et faisant suite à la chaîne cadomienne, un épisode extensif au Paléozoïque inférieur à moyen, entre 500 et 360 millions d'années, a entraîné la création de bassins sédimentaires, résultat de l'extension (c'est-à-dire de l'étirement de la croûte continentale) et le dépôt dans ces bassins, de conglomérats, grès et d'argiles jusqu'à des calcaires : des schistes rouges ou pourpres de Pont-Réan, en passant par les Grès armoricains et les schistes noirs d'Angers entre autres.

La chaîne de montagne « hercynienne » ou « varisque » est venue une nouvelle fois, mettre le Massif armoricain en compression entre 360 et 300 millions d'années environ. Sa formation correspond au rapprochement de deux masses continentales. Le rapprochement de ces deux continents, séparés initialement par un océan, a entraîné la disparition de celui-ci. Les déformations hercyniennes se sont situées principalement le long de deux grandes failles ou cisaillements qui traversent la Bretagne de part en part : au Nord, le Cisaillement Nord Armoricain ou CNA, depuis Brest jusqu'à Laval, et au Sud, le Cisaillement Sud Armoricain ou CSA depuis la Pointe du Raz jusqu'en Pays de la Loire. La chaîne hercynienne a affecté l'ensemble des roches cadomiennes et paléozoïques de Bretagne.

L'architecture géomorphologique de la Bretagne est donc le résultat combiné de ces deux cycles orogéniques (chaînes de montagnes), que sont la chaîne cadomienne (620 millions d'années) et la chaîne hercynienne (360 millions d'années), mais aussi l'œuvre de l'érosion et de l'altération qui n'ont pas eu les mêmes effets et intensités en fonction de la résistance des différentes formations.

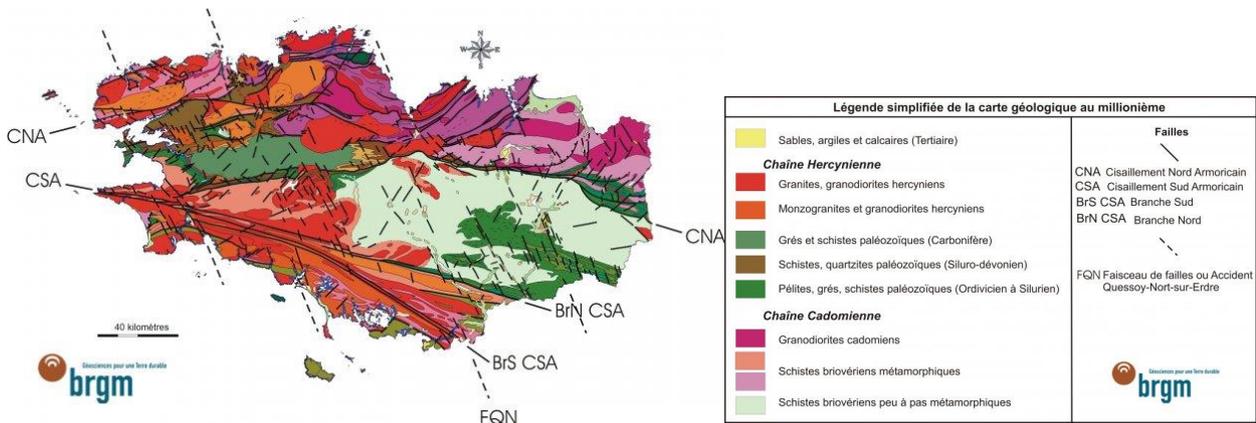


Illustration 1 : Carte géologique au millionième de la Bretagne et failles associées, Eds BRGM

L'histoire géologique entre 240 et 65 millions d'années (post hercynienne) demeure assez mal connue. Les épaisses séquences sédimentaires du Trias et du Jurassique (230 à 200 millions d'années), qui se déposent en Manche, en Aquitaine et dans le bassin parisien, n'ont aucun témoin connu sur la péninsule bretonne. Seules des intrusions magmatiques (sous la forme de filons de dolérite de direction NW-SE à NS) et datées à 205 Ma, témoignent d'une période d'extension, prélude de l'ouverture de l'océan Atlantique nord.

Au Cénozoïque (65 millions d'années), la Bretagne est considérée comme essentiellement continentale (Durand, 1960 ; Estéoule-Choux, 1967) et les roches du massif armoricain (schistes, gneiss et granites) ont subi une altération, les transformant *in situ* en arènes, limons et argiles d'altération (riche en kaolinite). L'Éocène inférieur (55 millions d'années), est caractérisé par une période d'altération importante des roches du substratum, sous des climats chauds et humides, déterminant des profils latéritiques de 70 à 100 m d'épaisseur. La fin de cette période d'altération est marquée par des horizons de silicification (conglomérats, grès ladères et de sabal) interprétés par Wyns et Guillocheau (1999), comme une période, pour l'Europe du nord, caractéristique d'une subsidence lithosphérique. Ces silicifications d'âge supposé Eocène moyen sont observables sur l'ensemble de la Bretagne.

Des failles NW-SE cassantes vont s'individualiser sur les filons de dolérites carbonifères à triasiques, et jouer pendant le Tertiaire (comme la Faille ou Accident de Quessoy-Nort-sur-Erdre FQN ou encore de Chartres-de-Bretagne/Pont-Péan), pour créer des bassins d'effondrement (grabens) qui vont se remplir de sédiments argilo-sableux accompagnés de minces niveaux de lignite. Les mouvements tectoniques syn- à post- Éocène affectent les niveaux latéritiques, leur conférant une géométrie « en touches de piano ». Le remplissage de ces bassins va se poursuivre de l'Oligocène au Miocène par l'intermédiaire d'argile, de calcaires, et de sables calcaires (Mer des faluns). Au Miocène tardif - Pliocène, les sables rouges et les dépôts marins associés vont venir combler une paléo-topographie de type « ria » (Guillocheau et al., 1998).

Le Quaternaire correspond au début des cycles glaciaires et donc à un changement climatique général vers 2,4 millions d'années. Une alternance de périodes froides et de réchauffements (périodes tempérées ou interglaciaires) va se succéder, avec pendant les périodes froides une ligne de rivage plus basse et, sur les parties continentales, un gel provoquant la fracturation des roches affleurantes et leur transit sur les versants, par cryoturbation, fauchage et gélifluxion (heads). Pendant les périodes tempérées interglaciaires, les niveaux des mers vont être proches de l'actuel.

L'Holocène (interglaciaire actuel) marque le retour d'un climat tempéré depuis 10 000 ans environ. Même si la fin de la dernière glaciation est mal connue, on dispose de nombreuses informations sur la flore et les variations du niveau marin depuis 8 000 ans (Morzadec-Kerfourn, 1974). La ligne du rivage est ainsi remontée de 80 m jusqu'au 0 actuel. De ce fait, les principales vallées des rivières côtières actuelles se prolongent en mer, ce réseau de paléo-vallées ennoyées, ayant été creusé lors de périodes froides, en relation avec les abaissements importants du niveau marin, notamment au Pléistocène supérieur (entre 8 000 et 120 000 ans).

L'histoire géologique du massif armoricain est détaillée par Balèvre et al., 2013.

2.1.1. Formation des bassins tertiaires et quaternaires (cénozoïques)

Bien que le terme de bassin soit employé de manière générique, les termes de dépôts, remplissages et accumulations sont plus appropriés étant donné qu'une partie de ces dépôts ne sont pas situés dans des bassins tectoniques. Les différents dépôts sédimentaires se sont mis en place au cours de différentes phases d'enneigement successives au cours du Cénozoïque (de 65 millions d'années à nos jours). Celles-ci sont synthétisées dans Bessin *et al.*, 2015. Après une période d'altération latéritique observée par la présence de kaolinite sur différents dépôts Eocènes (Estéoule-Choux and Ollivier-Pierre, 1973; Ollivier-Pierre, 1980) le massif armoricain a été immergé par une hausse du niveau marin au moins 6 fois (Guillocheau *et al.*, 2003) au (1) début de l'Eocène (Yprésien) le long de la partie sud du massif armoricain, (2) à la base de l'Eocène tardif (Bartonien), (3) au début de l'Oligocène (Rupélien), (4) au Miocène moyen, (5) au Miocène supérieur (Messinien ?) et (6) au début du Pléistocène (Gélasien). Entre le Bartonien et le Rupélien une augmentation du niveau marin et une aggradation lacustre ont lieu, qui sont préservées dans des grabens d'orientation N150 (Rennes, Landéan, Saffré), principalement localisée à l'est du territoire breton. L'enneigement du Miocène moyen est associé à des calcaires bioclastiques de mers chaudes et peu profondes. Ces dépôts seront par la suite incisés par (1) un premier réseau de drainage durant la fin du Miocène, formant des vallées remplies par des dépôts continentaux et estuariens durant le Miocène supérieur et le Pliocène, et des sables rouges (Brault *et al.*, 2004), puis (2) une seconde génération de rivières qui forment le réseau moderne mis en place autour de la limite pléistocène inférieur à moyen (Bonnet *et al.*, 2000).

Des reconstitutions des paléogéographies ont été effectuées par Thomas (1999) puis actualisées par Bauer *et al.*, 2016 pour la période Bartonien-Serravallien et Armandine les Landes *et al.*, 2015 pour la période Messinien-Calabrien (Illustration 2).

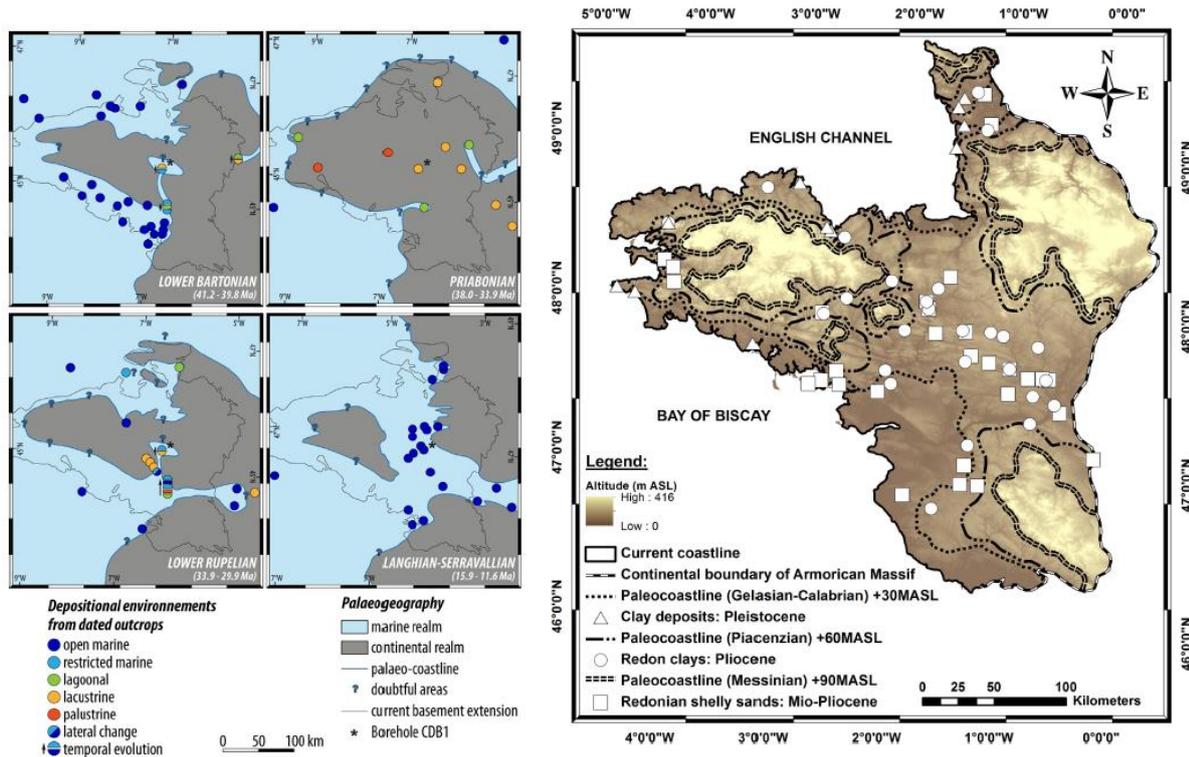


Illustration 2 : à gauche) Evolution paléogéographique du Bartonien au Langhien-Serravilien (modifié de Thomas par Bauer et al., 2016) et à droite) Localisation des paléocoastlines sur la topographie actuelle lors des transgressions marines depuis le Pliocène moyen (Armandine les Landes et al., 2015).

L'enregistrement sédimentaire de ces différentes périodes est relativement bien préservé dans le bassin de Rennes, bassin cénozoïque le plus profond de Bretagne ; et a pu être détaillé au travers du forage carotté CDB1 de 675 m. Ces études ont été menées par le BRGM, en collaboration avec l'Université de Rennes 1 (Projet CINERGY, Bauer et al., 2011; Bauer et al., 2016).

Le log litho-stratigraphique et bio-stratigraphique du forage CDB1 a permis de décrire sept formations géologiques distinctes en accord avec les études antérieures. De bas en haut, les dépôts commencent avec la formation de Chartres-de-Bretagne (Bartonien inférieur à moyen) composée par des niveaux grossiers suivis de marnes claires passant à des argiles laminées et un retour de niveaux grossiers sableux. Au-dessus, sur 290 m, s'organisent des dépôts organiques et sapropèles (Priabonien – Rupélien inférieur) avant que n'arrivent les marnes à *N. crassatina* et des calcaires à *Archiacina* (Rupélien inférieur). Enfin de nouveaux les sapropèles dits sapropèles supérieurs (Rupélien tardif), précèdent les faluns et calcaires à lithothamnium (Miocène) (Bauer et al., 2016)

2.1.2. Répartition des bassins

La répartition spatiale à l'échelle régionale n'est pas homogène et a été structurée selon deux éléments principaux :

- 1) Les décrochements lors des phases d'extension créant des dépressions
- 2) L'ennoiement permettant le remplissage des bassins

Les bassins sédimentaires référencés dans le référentiel BD LISA (Baudouin et al., 2010 et 2013) et le recensement des sables rouges réalisé dans le cadre de l'évaluation de la ressource minérale bretonne pour le Schéma Régional des Carrières (Schroëtter et al., 2017) sont présentés dans l'illustration 4.

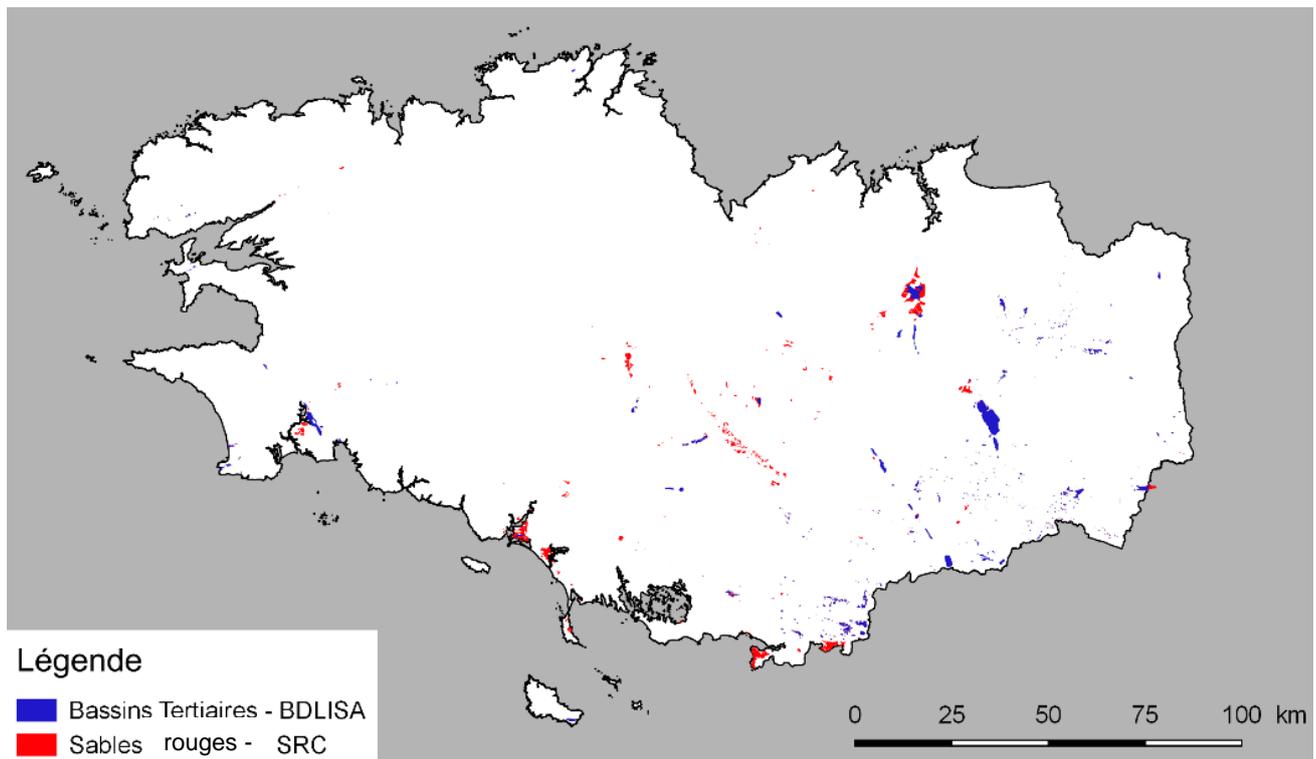


Illustration 4 : Localisation des bassins sédimentaires référencés dans la BDLISA (en bleu) et des sables rouges inventoriés dans le cadre du Schéma Régional des Carrières (SRC – en rouge) ; Schroëtter et al., 2017.

On observe que de nombreux bassins sont situés le long de failles de directions N150 telles que le faisceau de failles de Quessoy -Nord sur Erdre (faille principale et satellites) et des bassins d'effondrement éocènes-oligocènes (ex : Port Louis).

Récemment dans le cadre d'un projet de cartographie des zones potentiellement productrices en eau du programme ANAFORE, un modèle tectonique pour la déformation post hercynienne a été proposé (Schroëtter et al., 2020). Ce modèle associe les structures Nord-Sud (failles/fractures ou fentes de tension) avec l'individualisation des failles orientées N150°. Les structures Nord-Sud seraient les structures de la mise en compression du Massif armoricain qui évoluerait par l'individualisation de failles N150° à 45° de la contrainte principale Nord-Sud et sub horizontale. Ainsi par analogie avec la déformation d'un cylindre de roche, il y aurait dans certaines parties de la Bretagne une augmentation de volume (un flambage) et dans d'autres la création de bassins sédimentaires.

La Bretagne a connu une phase de compression Nord-Sud qui a généré des failles de directions N150 et N045. La fracturation a permis l'apparition de grabens qui ont par la suite été comblés. Le mécanisme et son analogie expérimentale sont expliqués sur l' Illustration 5.

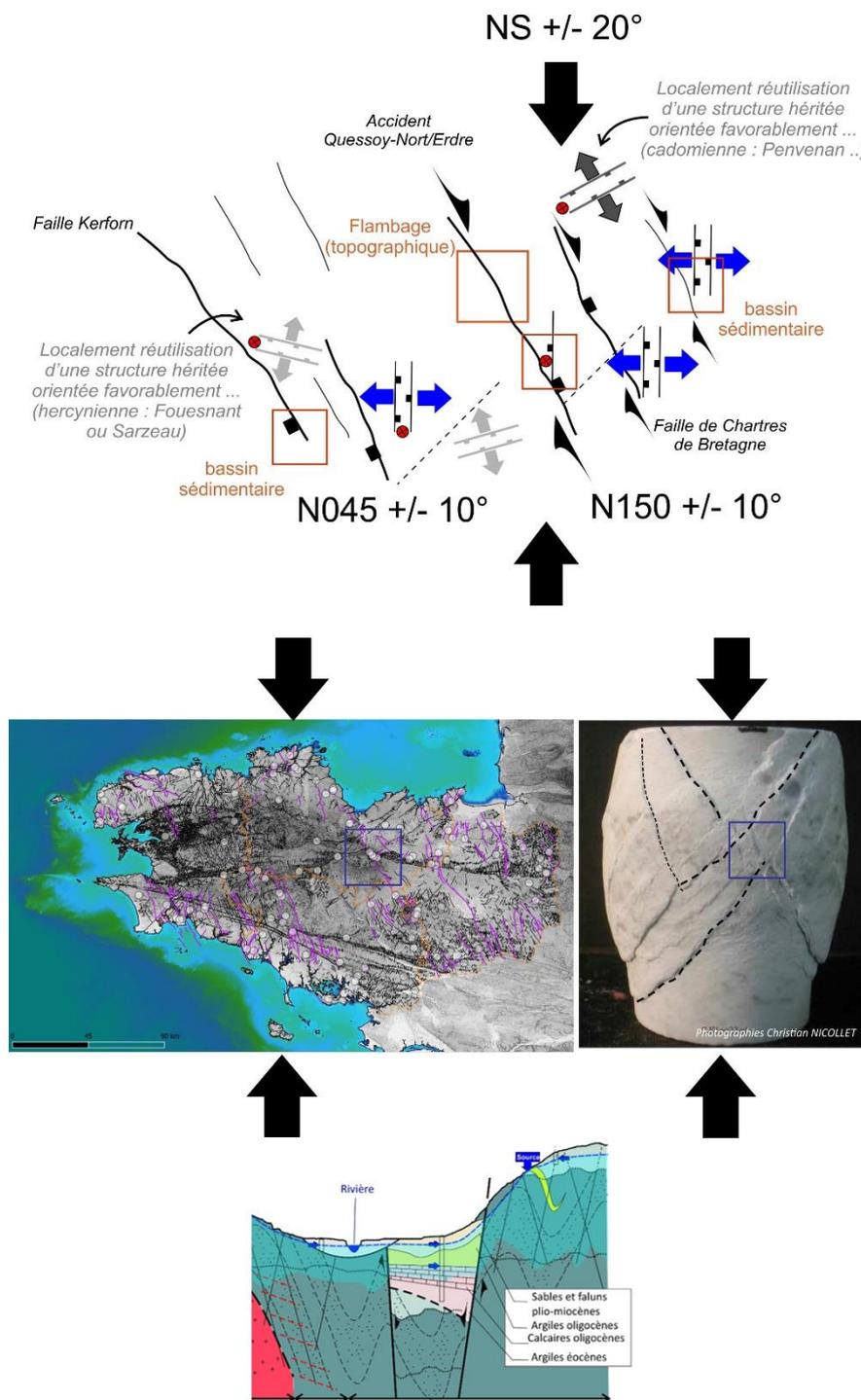


Illustration 5 : Impact de la compression Nord-Sud (NS) sur la fracturation avec création de failles orientées N150 et N045. En haut - à l'échelle régionale (à gauche) et analogie entre le relief breton et le flambage du cylindre de roche (à droite) ; En bas - remplissage des grabens formés par des dépôts sédimentaires (Schroetter et al., 2020).

La répartition des bassins à l'échelle régionale (Illustration 6a) et leurs formes locales (Illustration 6b) confirment l'importance de ce mécanisme.

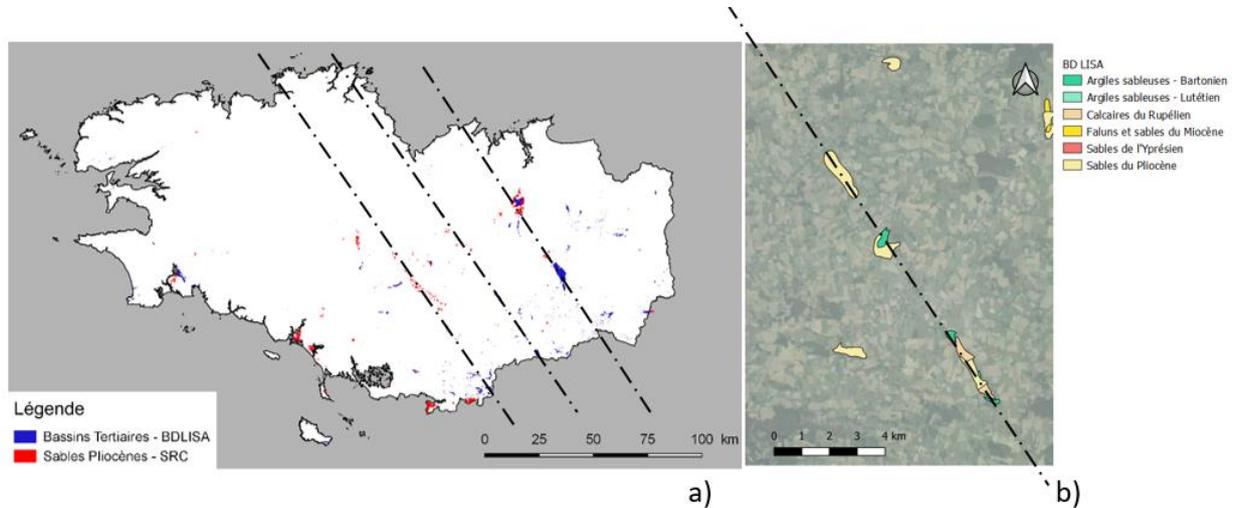


Illustration 6 : Répercussions de la fracturation sur la mise en place et la forme des bassins sédimentaires a) à l'échelle régionale et b) à l'échelle locale (informations BDLISA sur la commune de Pipriac). Les traits tiretés indiquent les directions N150.

Le second élément important est l'envolement du territoire ayant permis le dépôt de sédiments à différentes périodes. Les différentes phases d'envolement en fonction des époques ont par des variations eustatiques, recouvert les bassins et débordé au-delà des limites des différents bassins. Un exemple intéressant est la cartographie des différents sables mio-plio-quaternaires réalisés dans le cadre de l'évaluation de la ressource minérale bretonne du SRC (Schroëtter et al., 2017). Les sables rouges au sens large viennent recouvrir une importante superficie du territoire breton mais sont limités à une certaine altitude de 100 à 110 m NGF. Au-dessus de cette limite, les terrains sont rougis et non sableux correspondant à une surface continentale plutôt altérée. Ainsi de nombreux placages de sables, non comptabilisés en tant que bassins dans le cadre de cette étude sont aussi présents sur le territoire en dessous de ces 100/110 m NGF.

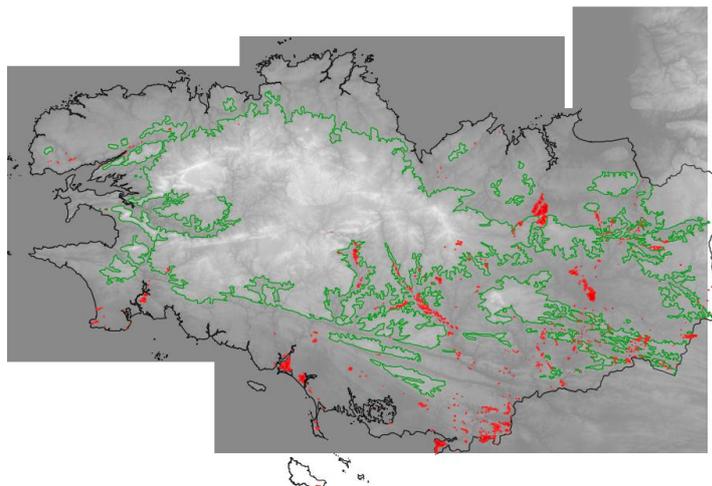


Illustration 7 : Localisation des sables plio-quaternaires (en rouge) et limite altimétrique de présence (en vert)

2.2. ENTITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

Les principales entités hydrogéologiques sédimentaires de Bretagne ont été décrites dans le cadre du référentiel hydrogéologique national BD LISA (<https://bdlisa.eaufrance.fr/>) et sont synthétisées dans le tableau suivant. Les fiches complètes sont disponibles sur le site du SIGES Bretagne (<http://sigesbre.brgm.fr/Fiches-de-synthese-hydrogeologique.html>).

Age	Age de la formation et notations des cartes géologiques	Départ.	Nom des bassins	Nature	Code entité BD LISA	Nom entité LISA
Indéterminé	Tertiaire indifférencié	29-35	Bassins du Finistère et d'Ille-et-Vilaine		/	/
Pliocène	Pliocène (p) (p1-2) (pG) (p-IV)	56	Mohon, Radenac			
		35	Argentré-du-Plessis, Lassy, Le-Theil-de-Bretagne, Pipriac (Le Meneu), Rannée La-Guerche-de-Bretagne, Retiers, Saint-Malo-de-Phily, Saint-Séglien...	Aquifère	104AB01	Sables du Pliocène de Bretagne et Pays-de-la-Loire (bassin Loire-Bretagne)
	Pliocène (pA)	56	Bassins du Morbihan		/	/
		35	Bassins d'Ille-et-Vilaine		/	/
Miocène	Miocène moyen (m) (m2a) (m2-4) (m3-4)	22	Le Quiou-Tréfumel			
		35	Chartres-de-Bretagne Bruz, St-Grégoire, Dingé, Feins, Lohéac, St-Sauveur-des-Landes, Coësmes, Gahard, Guipel, Landujan, St-Aubin-d'Aubigné	Aquifère	104AC08	Faluns du Miocène moyen en Bretagne et Pays-de-la-Loire (bassin Loire-Bretagne)
Oligocène	Oligocène inf. (g1)	22	Saint-Jacut-du-Mené		/	/
		35	Loutehel		/	/
	Oligocène inf. (g1)	29	Crozon, Guilers, Aber-Ildut			
		35	Chartres-de-Bretagne Bruz, Langon, Les Brulais, Pipriac (La Cohiais)	Aquifère	113AC15	Calcaires du Rupélien supérieur en Bretagne
Eocène	Eocène sup. (e7-g1) (e)	35	Landéan, Chartres-de-Bretagne Bruz, Pipriac (Bouëssic), Pipriac (La Cohiais)	Imperméable	113AJ01	Argiles sableuses du Bartonien-Rupélien en Bretagne et Pays de la Loire (bassin Loire-Bretagne)
		29	Quimper Toulven			
	Eocène moyen (e)	22	Penvénan	Semi-perméable	113AF03	Argiles sableuses du Lutétien en Bretagne et Pays de la Loire (bassin Loire-Bretagne)
	Eocène inf. (e4) (e3-7)	35	Chartres-de-Bretagne Bruz, Pont-Péan, Grand-Fougeray, Teillay	Aquifère	113AF05	Sables de l'Yprésien en Ille-et-Vilaine, Loire-Atlantique et Vendée (bassin Loire-Bretagne)
56		Port-Louis Lorient				

Illustration 8 : Ages, localisation, nature, codes et libellés des entités BD LISA sédimentaires de Bretagne

2.2.1. 113AF05 – Sables de L'Yprésien en Ille-et-Vilaine, Loire-Atlantique et Vendée

Les sables de l'Yprésien sont les premiers dépôts tertiaires identifiés après la continentalisation généralisée fin Crétacé-Paléocène. Ce sont des sédiments terrigènes sableux fluvio-deltaïques. Leur superficie en Bretagne est estimée à 5 km² sur le Morbihan (Port-Louis, Lorient) et l'Ille-et-Vilaine (Chartres-de-Bretagne, Bruz, Pont-Péan, Grand-Fougeray, Teillay). Ces sables sont plus développés en Pays de la Loire.

2.2.2. 113AF03 – Argiles sableuses du Lutétien en Bretagne et Pays-de-la Loire

Cette formation a une très faible extension (0.3 km²) limitée à la pointe sud de Plougrescant et à l'Est de Penvénan dans les Côtes d'Armor. Découverte en 2009-2010, peu d'informations sont disponibles sur cette formation. Trois logs sont disponibles sur ce petit bassin sédimentaire et montrent une alternance de lits métriques de sables fin à grossier et argiles sur une puissance minimale de 15 m. Cette formation est considérée comme semi-perméable puisque les lithologies sableuses peuvent constituer des niveaux aquifères si la fraction argileuse n'est pas trop importante.

2.2.3. 113AJ01 – Argiles sableuses du Bartonien-Rupélien en Bretagne et Pays-de-la-Loire

Ces argiles imperméables couvrent une superficie de 32 km² et sont situées dans le Finistère (Quimper, Toulven) et l'Ille-et-Vilaine (Landéan, Chartres-de-Bretagne, Bruz, Pipriac (Bouëssic), Pipriac (La Cohiais)). Les profondeurs des bassins peuvent être importantes 71 m à Landéan et plus de 55 m à Quimper.

2.2.4. 113AC15 – Calcaires du Rupélien supérieur en Bretagne

Cette formation calcaire est connue uniquement sur la commune de Chartres-de-Bretagne. Dans d'autres secteurs, cette période est caractérisée par des argiles verdâtres (Landéan, Langon, Les Brulais, Pipriac (La Cohiais) et Crozon ou Guilers).

Pour le bassin de Chartres-de-Bretagne, ces niveaux de calcaires, sous-jacents aux faluns miocènes et aux sables pliocènes, constituent l'un des plus beaux aquifères sédimentaires bretons en termes de quantité.

2.2.5. 104AC08 – Faluns du Miocène moyen en Bretagne et Pays-de-la-Loire

Cette formation couvre 17 km² et est composée de calcaires (faluns) et des argiles sablo-calcareuses subordonnées. Les faluns sont des sables carbonatés très coquilliers, riches en bryozoaires, algues, foraminifères, polypiers et mollusques à coquilles brisées et roulées.

Au Miocène, la mer des faluns, peu profonde, envahit partiellement le plateau armoricain et sa trace restera préservée dans les dépressions héritées de l'Eo-Oligocène.

Les deux principaux gisements sont celui de Chartres-de-Bretagne en Ille-et-Vilaine (35) et celui du Quiou (proche d'Evran) dans les Côtes d'Armor (22), mais on retrouve aussi ces faluns dans plusieurs bassins bretons : St-Grégoire, Dingé, Feins, Lohéac, St-Sauveur-des-Landes, Coësmes, Gahard, Guipel, Landujan, St-Aubin-d'Aubigné (Ille-et-Vilaine). Ils sont exploités dans toutes ces communes pour l'alimentation en eau potable car la perméabilité de ces terrains est plus importante que celle des formations dites de socle (altérites au sens large et zone fissurée), avec dans la littérature des valeurs comprises entre $1,7 \cdot 10^{-4}$ à $9 \cdot 10^{-3}$ m/s. Leurs épaisseurs sont elles aussi variables, allant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, en accord avec leur ordre de dépôts. Ces faluns peuvent localement être consolidés comme aux abords de la carrière des Grands-Fours (à Chartres-de-Bretagne) où les lithothamniums constituent de véritables « récifs ».

2.2.6. 104AB01 – Sables du Pliocène en Bretagne et Pays-de-la-Loire

Cette formation est la plus importante des formations sédimentaires de Bretagne.

Le Pliocène est caractérisé par une sédimentation de type remplissage fluvio-deltaïque à fluvial, comblant en fonction de l'espace disponible : soit d'étroites vallées ou rias et dans ce cas la sédimentation sera plutôt grossière, soit des domaines plus élargis et dans ce cas la sédimentation sera plutôt argileuse (Guillocheau et al., 1998).

Dans certains secteurs, le Pliocène jalonne les cours d'eau actuels (c'est notamment le cas le long du cours actuel de la Vilaine) alors que dans d'autres secteurs, les réseaux hydrographiques pliocène et actuel semblent totalement indépendants. La première remarque de contiguïté entre les réseaux pourrait souligner un caractère de surimposition entre les deux réseaux hydrographiques alors que le second, plutôt un caractère d'antécédence (Illustration 9).

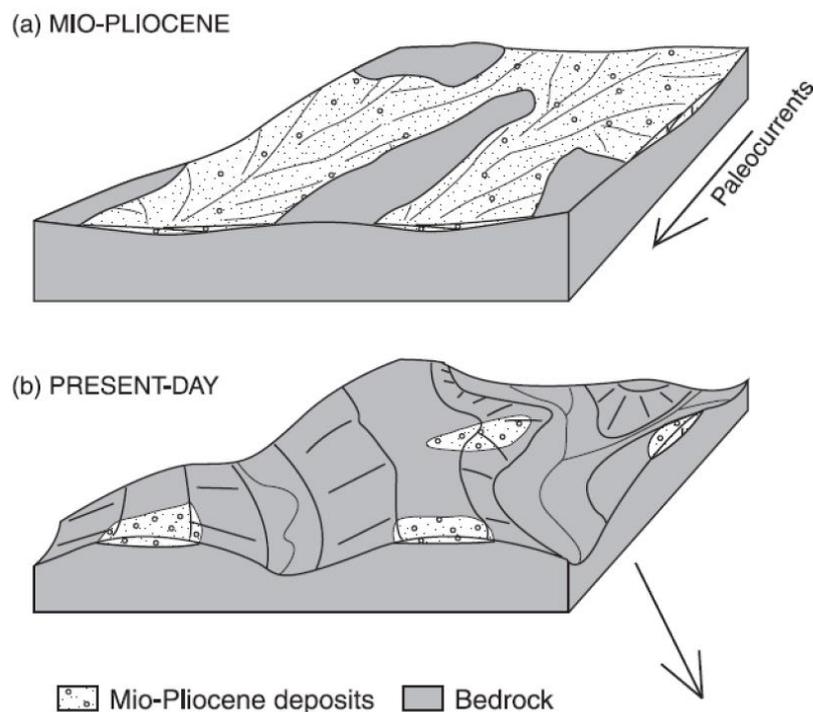


Illustration 9 : Relation entre les paléovallées pliocènes et les vallées actuelles (Brault, 2004)

Le cycle sédimentaire du Pliocène se résume en deux séquences principales : la séquence basale, à faune « froide », sableuse et transgressive (sables gris puis rouges), surmontée par une séquence argileuse dont la faune et la microflore enregistrent un changement climatique plus froid marquant le début du Quaternaire (Pléistocène).

La première séquence sédimentaire essentiellement sableuse, composée de sables fins à grossiers, rouges, parfois gris et glauconieux, parfois agglomérés (roussards à la base notamment), pyriteux et fossilifères, s'oppose par son apparente homogénéité aux alluvions quaternaires plus grossiers et plus chaotiques. Malgré une fraction grossière dominante, des lits argileux noirâtres à gris peuvent s'intercaler (comme dans le secteur de Saint-Malo-de-Phily). Dans d'autres secteurs, cette séquence (la Brutz à Bonne-Fontaine ou dans les carrières à l'Ouest d'Ercé-en-Lamée) montre des accumulations décamétriques de sables dans des poches de largeur kilométrique. Des sables jaunes à blancs, au cœur des dépôts les plus épais, sont empâtés dans une argile rougeâtre, et ces gisements semblent être les témoins d'épandages d'arènes qui les ont alimentées. Ces niveaux de sables sont activement exploités autant en direction des marchés de la construction que comme aquifères d'origine sédimentaire pour l'alimentation en eau potable où ils constituent une ressource significative (bien que vulnérable qualitativement). Les petits bassins identifiés avant le projet ICARE sont localisés à Mohon et Radenac pour le Morbihan (56) ou Argentré-du-Plessis, Lassy, Theil-de-Bretagne, Pipriac (Le Meneu), Rannée, La Guerche-de-Bretagne, Retiers, St-Malo-de-Phily, St-Séglien pour l'Ille-et-Vilaine (35).

La perméabilité de ces terrains est beaucoup plus importante que celles des formations dites de socle (altérites au sens large et zone fissurée), allant en fonction de la littérature de 4.10^{-4} à $2,5.10^{-3}$ m/s. Leurs épaisseurs sont elles aussi variables, pouvant passer de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres.

La seconde séquence datée Pliocène n'est observable que très localement comme à Saint-Jean-la-Poterie (Morbihan), où elle est constituée d'argiles plus ou moins silteuses. Il existe des

niveaux non datés en Bretagne et provisoirement intégrés au Pliocène par analogie de faciès ou par relation de terrain. Ce sont des placages ou des poches d'argiles litées kaolinitiques, silteuses, rouges ou bariolées, reposant sur des galets ou des gravillons que l'on retrouve en général à des altitudes comprises entre 50 et 90 m NGF.

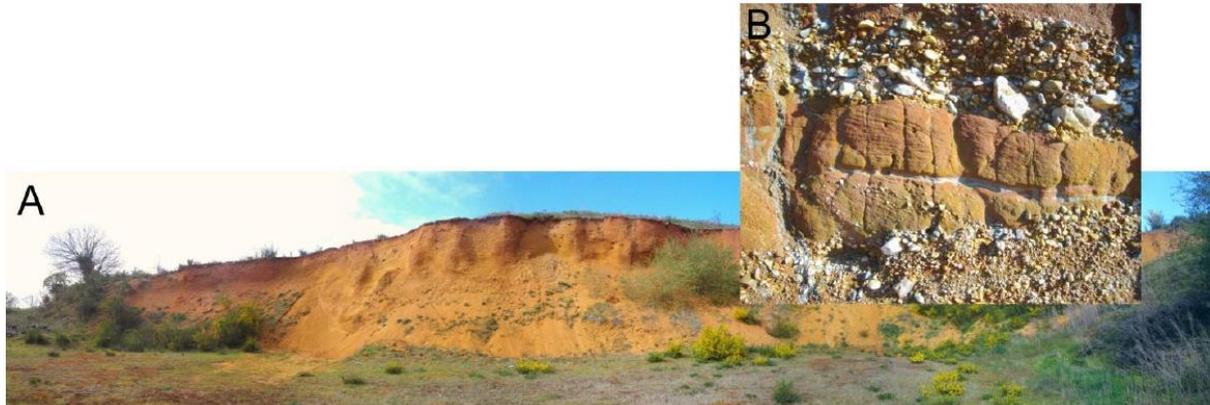


Illustration 10 : A) Affleurement de sables rouges – Antrain (35) ; B) Alternance de niveaux de graviers et de sables rouges – Penestin (56) (Schroëtter, 2017)

Lithologie	Surface Km2
Sables de L'Yprésien	5.41
Argiles sableuses du Lutétien	0.37
Calcaires du Rupélien	6.94
Argiles sableuses du Bartonien-Rupélien	32.39
Faluns et Sables du Miocène	16.98
Sables du Pliocène	71.16
* Données BDLISA	

Illustration 11 : Surfaces des formations sédimentaires référencées dans BD LISA en Bretagne

2.3. SUIVI PIEZOMETRIQUE DANS LES BASSINS SEDIMENTAIRES

Les Faluns du Miocène sont suivis par deux piézomètres du réseau national de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines.

Le premier (piézomètre de Guémain - Le Quiou - 02812X0238/PZ) suit le bassin du Quiou (22) et le second (piézomètre de la petite Noë – Saint-Grégoire - 03172X0088/PZ) suit le bassin de Saint-Grégoire (35). Ces deux piézomètres présentent des cycles annuels assez similaires (recharge hivernale / vidange estivale) mais ont des comportements contrastés avec une rapide réaction de la nappe suite à des événements pluvieux sur le bassin du Quiou et une nappe plus inertielle à Saint Grégoire.

Les autres formations sédimentaires ne sont pas suivies dans le cadre du réseau piézométrique national.

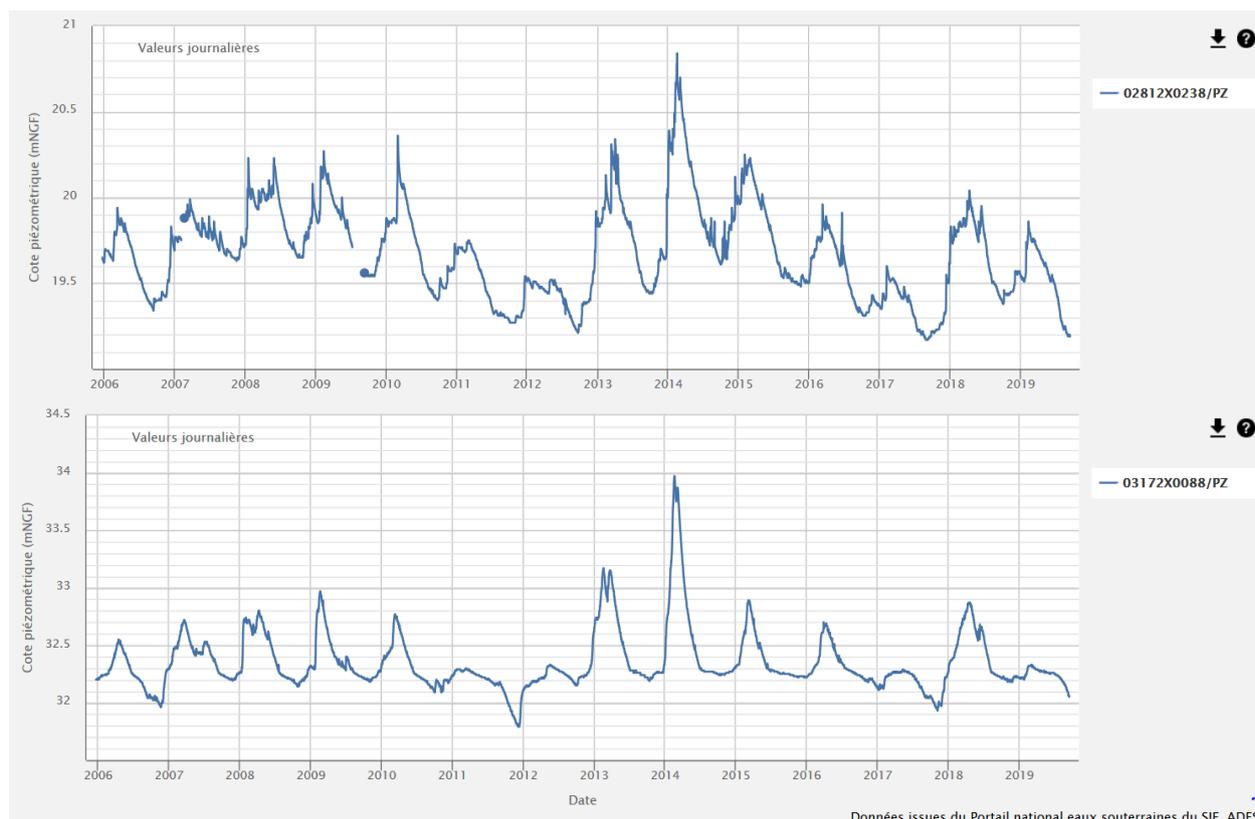


Illustration 12 : Evolution des cotes piézométriques (mNGF) des piézomètres du réseau national présent dans les bassins sédimentaire de Bretagne (en haut : Le Quiou (02812X0238/PZ) et en bas : Saint-Grégoire (03172X0088/PZ)) – source : ADES

2.4. PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES

Les informations sur la perméabilité des aquifères sédimentaires sont relativement limitées. 16 mesures issues d'essais de pompage donnent des valeurs moyennes de conductivité hydraulique proches de 10^{-3} m/s ce qui est nettement supérieur aux valeurs couramment observées dans les aquifères de socle.

Nom du bassin	Dépt	Lithologie	Age de la formation	Valeurs perméabilités
Chartres-de-Bretagne Bruz	35	faluns	Miocène moyen	$1,7 \cdot 10^{-4}$ m/s
Médréac	35	faluns	Miocène moyen	$3 \cdot 10^{-3}$ m/s
Landujan	35	faluns	Miocène moyen	$5 \cdot 10^{-3}$ m/s
Saint-Grégoire	35	faluns	Miocène moyen	$5 \cdot 10^{-3}$ m/s
Gahard	35	faluns	Miocène moyen	$7,5 \cdot 10^{-4}$ m/s
Saint-Aubin-d'Aubigné	35	faluns	Miocène moyen	$9 \cdot 10^{-3}$ m/s
Chartres-de-Bretagne Bruz	35	argiles-calcaires-marnes	Oligocène inférieur	$8 \cdot 10^{-5}$ m/s
Chartres-de-Bretagne Bruz	35	argiles-calcaires-marnes	Oligocène inférieur	$2,7 \cdot 10^{-3}$ m/s
Chartres-de-Bretagne Bruz	35	argiles-calcaires-marnes	Oligocène inférieur	$4 \cdot 10^{-3}$ m/s
Le-Theil-de-Bretagne (Groussinière)	35	sables	Pliocène	$1,25 \cdot 10^{-3}$ m/s
Retiers Le-Theil-de-Bretagne (La Cité)	35	sables	Pliocène	$1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s

Rannée	35	sables	Pliocène	$2,5 \cdot 10^{-3}$ m/s
Pipriac (Le Meneu)	35	sables	Pliocène	$4 \cdot 10^{-4}$ m/s
Langon	35	sables	Pliocène	$7 \cdot 10^{-4}$ m/s
Mernel	35	sables	Pliocène	$9 \cdot 10^{-4}$ m/s
Saint-Malo-de-Phily	35	sables	Pliocène	$5 \cdot 10^{-4}$ m/s

Illustration 13 : Valeurs de perméabilité connues sur les bassins sédimentaires de Bretagne

2.5. SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES BASSINS SEDIMENTAIRES

Cinq qualitomètres sont suivis par l'AELB dans les bassins tertiaires bretons, dans le cadre du réseau de contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines de la France :

- 02827X0013/P – Saint-Aubin-d'Aubigné (35) - La Douettée : capte les faluns et sables miocènes (entité BD LISA 104AC08)
- 03531X0013/P – Bruz (35) – Fénicat : capte les calcaires du Rupélien supérieur (113AC15)
- 03538X0005/P – Le-Theil-de-Bretagne (35) – La Groussinière : capte les sables du Pliocène (104AB01)
- 03838X0017/P – Plouhinec (56) – Pont Mouton : capte les sables du Pliocène (104AB01).
A noter : ce qualitomètre était identifié comme captant le socle du bassin versant de la Ria d'Étel (entité 197AA01) avant ce projet.
- 03878X0165/P3 – Langon (35) - La Briquerie : capte les alluvions de la Vilaine (938AC01), sus-jacents aux sables pliocènes

L'Agence Régionale de Santé (ARS) effectue également un suivi de la qualité des captages souterrains destinés à l'Alimentation en eau Potable (AEP) dans les bassins tertiaires bretons, au titre du contrôle sanitaire des eaux brutes destinées à la production d'eau potable. 48 captages sont concernés (dont les 5 captages également suivis par l'AELB). Tous les bassins actuellement exploités pour l'eau potable possèdent un suivi de la qualité des eaux souterraines.

3. Recensement des bassins cénozoïques

3.1. MÉTHODOLOGIE

Un recensement des bassins cénozoïques (tertiaires et quaternaires) en lien avec les ressources en eau a été réalisé dans le cadre de ce projet.

Différents types d'études ont été menées sur ces bassins : des études hydrogéologiques dans l'objectif d'exploiter les ressources en eau souterraine et des études géologiques afin de mettre en évidence des gisements de matériaux exploitables (sables).

49 bassins cénozoïques sont référencés dans le référentiel BD LISA cependant les travaux récents réalisés dans le cadre du schéma régional des carrières (Schroëtter, 2017) indiquent la présence d'autres gisements potentiels, notamment de sables pliocènes, non pris en compte dans BD LISA.

Au total, 68 bassins tertiaires ont été recensés en Bretagne dans le cadre de ce projet. La localisation de ces bassins est présentée Illustration 4. Parmi les bassins exploités produisant plus de 100 000 m³/an, le plus grand bassin est celui de Chartres de Bretagne avec une surface de plus de 2 000 ha et les plus petits sont ceux de Saint-Aubin-d'Aubigné (19.8 ha) et Gahard (3.3 ha). Les bassins de Lassy (3.5 ha) Saint-Sénoux (4.5 ha) et Mernel 7 (ha) produisent moins que 100 000 m³/an.

La liste des bassins recensés est fournie en annexe 1.

3.2. EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU DES BASSINS SEDIMENTAIRES A L'ECHELLE REGIONALE

3.2.1. Synthèse des prélèvements destinés à l'eau potable dans les bassins tertiaires bretons

A l'échelle régionale, les bassins tertiaires sont présents et exploités pour l'alimentation en eau potable en grande majorité dans le département de l'Ille-et-Vilaine, où ils représentaient en 2001 sur le bassin versant du SAGE Vilaine une ressource exploitée de 7 Mm³/an sur un total de prélèvements en eau souterraine de 13,7 Mm³/an sur le département (Talbo *et al.*, 2001). Dans le Morbihan, le volume prélevé dans ces bassins tertiaires du SAGE Vilaine était seulement de 0,2 Mm³/an en 2001.

Tableau 5 : Bassins tertiaires – Résumé de l'état des connaissances

N° commune	Dénomination	Production en année sèche(m3)	Ressources déterminées	Observations
Ille et Vilaine				
1. Langon	Port de Roche	Non exploité	-	Bassin non exploité sous alluvions exploitées
2. Pipriac	Le Meneu	190 000	1981	Ressources limitées – influence du Canut à préciser
3. Lohéac	Le Bourg	73 000	1981	Ressources faibles – très vulnérable
4. Mernel	Le Bourg	73 000	1978 – à préciser	Sables au SE – appoint potentiel ?
5. St Senoux	Bourhan	80 000	Non	Un puits jamais exploité pourrait sans doute être mis en service
6. Lasay	La Chapinais	33 000	Non	Ressources probablement très faibles
7. Chartres de Bgne – Bruz	Captages Rennes Sud	950 000	1969-76	Ce bassin fournit également l'équivalent pour l'usine Citroën
8. Rennes	Lillion	1 280 000	1979 – à préciser	Cf. note infra ¹
9. St Grégoire	La Noë	208 000	1972-76	Ressources exploitables estimées à préciser
10. Médreac	La Bouexière	840 000	1978	Ressources estimées – Rôle du ruisseau (St M'Hervon) à préciser
11. Dingé	La Motte aux anglais	340 000	Non	Ressources non connues, sous exploitées ?
12. Feins	La Chaumière	130 000	Non	Ressources non connues, sous exploitées ?
13. St Aubin d'Aubigné	La Douettée	365 000	1978	Ressources estimées
14. Gahard	La Tournerie	365 000	Non	Ressources non connues, sous exploitées ?
15. Argentré du Plessis	Les feux Chalives	120 000 (?)	Non	Ressources non connues, probablement faibles
16. Rannée	La Gaumonerie	146 000	1972-76	Ressources estimées
17. Retiers – Le Theil	La Cité	765 000	1971-76	Ressources estimées
18. Le Theil de Bgne	La Groussinière	385 000	1972-76	Ressources estimées – réalimenté (mal) par un ruisseau de mauvaise qualité
Loire Atlantique				
1. Saffré	La Clintenaie	785 000	A préciser	
Morbihan				
1. Radenac	Le Pertu Rouge	110 000	A préciser	Ressources très amoindries par l'extraction des sables d'une partie du gisement
2. Mohon	Casteldeuc	66 000	Non	Ressources non connues, probablement faibles

¹ Lillion fonctionne comme un aquifère alluvial. Les sables pliocènes servent de filtre pour capter l'eau des gravières immédiatement voisines, elles-mêmes alimentées probablement majoritairement par la Vilaine. La dynamique du système Vilaine : gravières-sables mériterait d'être définie avec précision.

Illustration 14 : Volume d'eau souterraine exploité dans les bassins tertiaires du SAGE Vilaine en 2001 (Talbo et al., 2001)

Ce bilan a été actualisé dans le cadre de ce projet. Les volumes d'eau souterraine prélevés entre 2016 et 2018 sur chaque bassin exploité ont été recueillis auprès des syndicats d'eau (Illustration 15). Ces volumes sont compris entre 9,8 et 11,3 millions de m³ et sont concentrés dans 6 bassins principaux, où les prélèvements sont supérieurs à 800 000 m³/an.

Bassin	Nom du captage	Superficie (ha)	Volume prélevé pour l'eau potable (m3)		
			2016	2017	2018
Landujan / Chapelle-du-Lou / Médréac	Bouëxière-Saudrais-Tizon	98	2 190 449	2 177 522	2 217 072
Chartres-de-Bretagne	Fénicat - Marionnais - Pavais	2 252	1 365 403	984 986	1 252 023
Langon	L'Illette - Briquerie - Etier	376	1 455 862	941 428	1 193 383
Chartres-de-Bretagne	Lillion	2 252	1 226 864	1 011 670	1 062 809
Le Quiou	Bleuquen (35) + Ville Bezy (22)	886	864 843	927 361	928 661
Retiers / Le-Theil-de-Bretagne	La Cité	264	686 584	804 441	798 847
Gahard	La Tournerie	3.3	514 163	437 242	408 941
Saint-Grégoire	La Noé	62	397 634	318 618	324 853
Le-Theil-de-Bretagne	La Groussinière	71	286 838	326 616	318 819
Saint-Aubin-d'Aubigné	Beauregard-Douettée	20	397 905	228 386	226 459
Feins	La Chaumière	71	189 243	181 474	198 882
Pipriac	Le Meneu	32	223 400	137 400	196 129
Plouhinec	Pont Mouton	90	143 644	148 802	159 619
Dingé	Le Masse et l'Herbage	201	210 919	146 937	144 643
Riantec	Kerdurand / Pont Ar Roch	94	129 684	144 683	143 985
Radenac	Pertu Rouge	83	158 685	142 588	125 824
Mernel	Mernel (Forage)	64	163 743	160 667	112 702
Saint-Jean-sur-Couesnon	Le Rocher	7.2	100 720	81 840	91 798
Saint-Georges-du-Chesné	Les Aunays	44	113 340	101 832	82 177
Saint-Senoux	Bourhan	4.5	112 069	81 254	79 192
Lassy	La Chapiniais	3.5	35 540	29 011	27 756
TOTAL		4 726.5	11 308 056	9 851 210	10 432 783

Illustration 15 : Volumes d'eau souterraine prélevés pour l'eau potable entre 2016 et 2018 dans les bassins tertiaires exploités (classés par volume 2018 décroissant)

NB : les productions d'eau des bassins de Landujan / Chapelle-du-Lou et de Médréac ont été regroupées.

On constate que les prélèvements d'eau potable dans les bassins tertiaires situés sur le SAGE Vilaine ont globalement augmenté de 33% entre 2001 et 2018 (Illustration 16), même si 4 bassins ont été abandonnés sur cette période.

Bassin	Volume prélevé en 2001 (m3)	Volume prélevé en 2018 (m3)	Evolution
Médréac	840 000	2 217 072	164%
Langon	-	1 193 383	100%
St Grégoire	208 000	324 853	56%
Mernel	73 000	112 702	54%
Feins	130 000	198 882	53%
Chartres de Bretagne	950 000	1 252 023	32%
Radenac	110 000	125 824	14%
Gahard	365 000	408 941	12%
Retiers - Le Theil de Bretagne	765 000	798 847	4%
Pipriac	190 000	196 129	3%
St Senoux	80 000	79 192	-1%
Lassy	33 000	27 756	-16%
Rennes Lillion	1 280 000	1 062 809	-17%
Le Theil de Bretagne	385 000	318 819	-17%
St Aubin d'Aubigné	365 000	226 459	-38%
Dingé	340 000	144 643	-57%
Lohéac	73 000	-	-100%
Argentré du Plessis	120 000	-	-100%
Rannée	146 000	-	-100%
Mohon	66 000	-	-100%
TOTAL	6 519 000	8 688 334	33%

Illustration 16 : Evolution des volumes d'eau souterraines prélevés entre 2001 et 2018 sur les bassins tertiaires du SAGE Vilaine (données 2001 : Talbo et al., 2001 – données 2018 : SMG35 et Eau du Morbihan)

3.2.2. Evolution des prélèvements d'eau dans les bassins tertiaires entre 1995 et 2015

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB) recense les prélèvements d'eau à usage alimentation en eau potable, industriel et irrigation. Il s'agit des volumes annuels prélevés déclarés par les divers utilisateurs payant des redevances à l'AELB. Une extraction des prélèvements d'eau souterraine de la base de l'AELB a été réalisée sur les captages localisés dans les bassins tertiaires, pour la période 1998-2015 (Illustration 17). Il faut noter que les prélèvements à usage AEP effectués dans les bassins tertiaires sont facilement identifiables, contrairement aux prélèvements à usage industriel et irrigation, souvent localisés aux centroïdes des communes dans la base AELB. Le bilan des prélèvements sur les bassins tertiaires n'est donc probablement pas exhaustif pour ces deux usages, qui restent toutefois minoritaires par rapport à l'usage AEP (qui représentent plus de 93% des prélèvements d'eau souterraine dans les bassins tertiaires d'après l'illustration 17). Concernant l'usage AEP, l'analyse fine des bassins tertiaires et les échanges avec les syndicats d'eau dans le cadre de ce projet ont permis d'identifier des ouvrages captant les aquifères sédimentaires, qui étaient jusqu'alors considérés comme prélevant l'eau des aquifères de socle. Ceci a permis de mettre à jour l'inventaire des prélèvements d'eau souterraine déclarés en 2009, réalisé dans le cadre du SIGES Bretagne.

Les prélèvements annuels d'eau souterraine dans les bassins tertiaires bretons entre 1998 et 2015 sont compris entre 8,4 et 11,6 millions de m³ (Illustration 17), sans tendance à la hausse ou à la baisse identifiable. Le pic de prélèvement observable entre 2002 et 2004 est lié à une forte sollicitation des forages AEP de Langon.

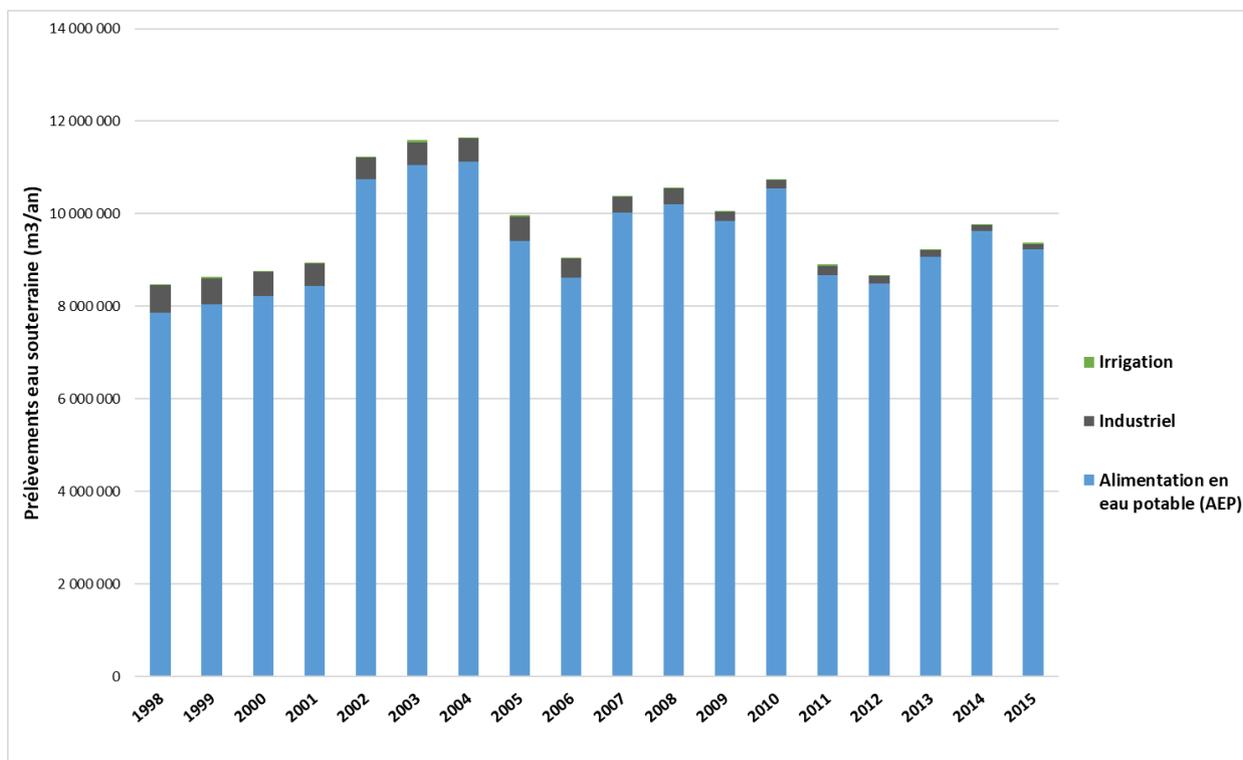


Illustration 17 : Prélèvements d'eau souterraine dans les bassins sédimentaires à l'échelle régionale (données AELB)

A l'échelle régionale, les prélèvements dans les aquifères tertiaires représentent 17% du volume d'eau souterraine prélevé pour l'eau potable en Bretagne (Illustration 18).

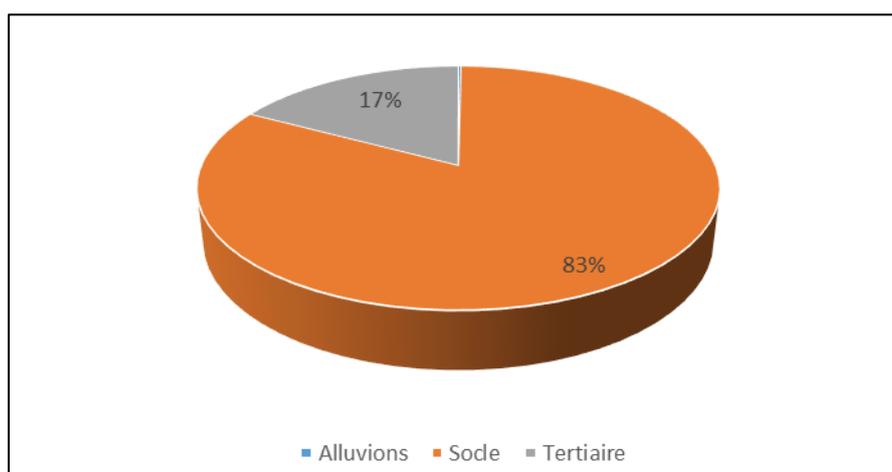


Illustration 18 : Répartition des prélèvements d'eau souterraine destinés à l'eau potable en Bretagne par type d'aquifère (données AELB, 2015)

En Ille-et-Vilaine, département concentrant la majorité des bassins sédimentaires, la proportion d'eau souterraine issue des aquifères tertiaires pour l'alimentation en eau potable atteint 55% (Illustration 19).

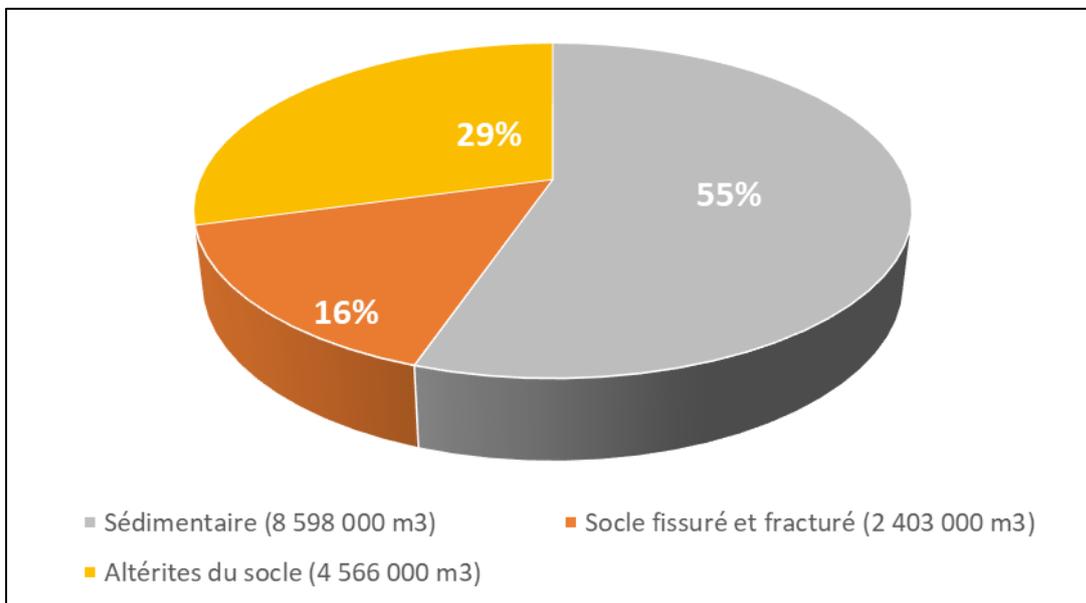


Illustration 19 : Répartition des prélèvements d'eau souterraine destinés à l'eau potable en Ille-et-Vilaine par type d'aquifère (données SMG35, 2018)

3.2.3. Saisonnalité des prélèvements

Les données mensuelles disponibles sur trois points de prélèvements sur la période 2012-2018 (données SMG35) ne montrent pas une forte saisonnalité des prélèvements (Illustration 20).

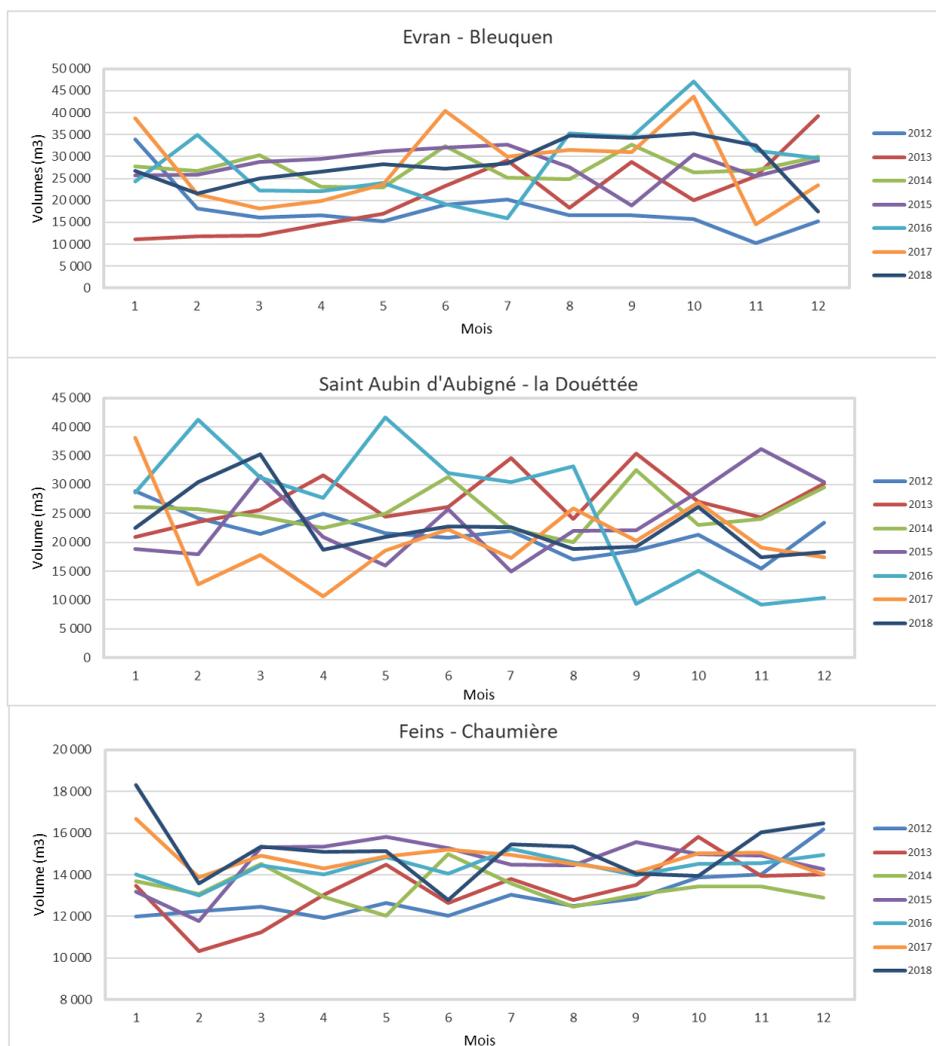


Illustration 20 : Evolution mensuelle des volumes prélevés dans les eaux souterraines sur 3 captages tertiaires entre 2012 et 2018 (données SMG35)

3.2.4. Captages d'eau potable

D'après le référentiel des captages destinés à l'alimentation en eau potable (AEP) disponible sur le site ADES, on recense 56 captages AEP captant les formations tertiaires, répartis sur 27 bassins (Illustration 21). Parmi ces captages, on dénombre 44 captages AEP actifs, sur les 21 bassins tertiaires actuellement exploités pour l'eau potable. 6 autres bassins ne sont plus exploités pour l'eau potable (abandon dû à un problème de qualité – nitrates ou pesticides – ou de débit).

N°	Bassin	Département	Exploitation AEP	Nombre de captages AEP	Nombre captages AEP actifs	Nombre de captages AEP abandonnés
1	Le Quiou-Tréfumel (22) - Evran (35)	22	Oui	4	3	1 (Carmeroc)
2	Chartres-de-Bretagne/Bruz/Rennes	35	Oui	6	6	
3	Dingé (La Motte aux Anglais)	35	Oui	2	2	
4	Feïns (La Chaumière)	35	Oui	2	2	
5	Gahard (La Tournerie)	35	Oui	4	3	1 (forage n°2)
6	Landujan / Chapelle-du-Lou	35	Oui	3	3	
7	Langon	35	Oui	3	3	
8	Lassy (La Chapinais)	35	Oui	1	1	
9	Le-Theil-de-Bretagne (La Groussinière)	35	Oui	2	2	
10	Médréac (La Bouexière)	35	Oui	1	1	
11	Mernel	35	Oui	1	1	
12	Pipriac (Le Meneu)	35	Oui	1	1	
13	Retiers Le-Theil-de-Bretagne (La Cité)	35	Oui	3	3	
14	Saint-Aubin-d'Aubigné (La Douettée - Beaugard)	35	Oui	2	2	
15	Saint-Georges-du-Chesné	35	Oui	1	1	
16	Saint-Grégoire (La Noë)	35	Oui	2	2	
17	Saint-Jean-sur-Couesnon	35	Oui	1	1	
18	Saint-Senoux (Bourhan)	35	Oui	3	3	
19	Plouhinec	56	Oui	1	1	
20	Port-Louis Lorient / Riantec	56	Oui	3	2	1 (puits E)
21	Radenac (Le Pertu Rouge)	56	Oui	1	1	
22	Argentré-du-Plessis (Les Feux Chalines)	35	Abandonné	1	0	1
23	Guenroc (Village Cariou)	35	Abandonné	1	0	1
24	Guipry-Messac (La Rabine)	35	Abandonné	1	0	1
25	Lohéac	35	Abandonné	1	0	1
26	Rannée (La Gaumonerie)	35	Abandonné	2	0	2
27	Mohon (Casteldeuc)	56	Abandonné	3	0	3
TOTAL				56	44	12

Illustration 21 : Captages AEP recensés sur les bassins tertiaires (ADES)

3.3. TAUX DE RENOUVELLEMENT ET FONCTIONNEMENT DES BASSINS EXPLOITES

Les connaissances et les informations sur les différents bassins exploités sont variables. Un recensement des données disponibles par bassin a été réalisé.

Une évaluation du ratio du volume renouvelable théorique sur le volume produit donne une information homogène entre les différents bassins. Ce ratio est calculé de la façon suivante :

$$\text{Ratio} = \text{Surface du bassin (m}^2\text{)} \times \text{Précipitations efficaces (m)} / \text{Volume exploité (m}^3\text{)} * 100$$

Avec les surfaces de bassins issues de la BD LISA et les précipitations efficaces estimées sur la période 1946-2001 (Source MEDD). Cette estimation ne prend pas en compte le ratio infiltration / ruissellement et induit donc une surestimation du taux de renouvellement.

Les résultats sont fournis dans le tableau suivant (Illustration 22).

N°	Bassin	Nom du captage	Production 2018	Peff (mm)	Surface (ha)	Renouvellement annuel (m3)	Ratio: Production / renouvellement (%)
1	Chartres de Bretagne	Fénicat - Marionnais - Pavais - Lillion	2 314 832	206	2 252	4 639 120	0.5
2	Landujan / Chapelle-du-Lou / Merdreac	Bouëxière-Saudrais-Tizon	2 217 072	220	98	215 600	1028.3
3	Langon	L'Illette - Briquerie - Etier	1 193 383	295	376	1 109 200	107.6
4	Le Quiou	Bleuquen (35) + Ville Bezy (22)	928 661	188	886	1 664 928	55.8
6	Retiers / Le-Theil-de-Bretagne	La Cité	798 847	205	264	541 200	147.6
7	Gahard	La Tournerie	408 941	231	3.3	7 577	5397.3
8	Saint-Grégoire	La Noé	324 853	207	62	128 816	252.2
9	Le-Theil-de-Bretagne	La Groussinière	318 819	205	71	145 550	219.0
10	Saint Aubin d'Aubigne	Beauregard-Douettée	226 459	231	20	45 738	495.1
11	Feins	La Chaumière	198 882	231	71	164 010	121.3
12	Pipriac	Le Meneu	196 129	196	32	62 720	312.7
13	Plouhinec	Pont Mouton	159 619	320	90	288 000	55.4
14	Dingé	Le Masse et l'Herbage	144 643	187	201	375 870	38.5
15	Riantec	Kerdurand / Pont Ar Roch	143 985	321	94	301 965	47.7
16	Radenac	Pertu Rouge	125 824	346	83	286 177	44.0
17	Mernel	Mernel (Forage)	112 702	229	64	146 560	76.9
18	Saint-Jean-sur-Couesnon	Le Rocher	91 798	277	7.2	19 806	463.5
19	Saint-Georges-du-Chesné	Les Aunays	82 177	277	44	121 880	67.4
20	Saint-Senoux	Bourhan	79 192	226	4.5	10 170	778.7
21	Lassy	La Chapinais	27 756	228	3.5	7 866	352.9

Illustration 22 : Production, pluie efficace, surface, taux de renouvellement et ratio production / renouvellement sur les bassins exploités.

Ce calcul montre que pour de nombreux bassins la production est nettement supérieure à la recharge sur la surface du bassin. Ce déficit est présent sur environ la moitié des bassins avec des taux pouvant aller jusqu'à 5000% pour le site de Gahard.

Ces sites étant exploités depuis de nombreuses années sans observation de surexploitation, ceci indique que pour de nombreux bassins des apports extérieurs participent à la production et que le bassin sédimentaire joue un rôle de réservoir exploitable.

Sur certains bassins, ces apports extérieurs ont fait l'objet d'études. Ainsi sur le site de Landujan les apports par la rivière ont été documentés (Géoarmor, 2013). Sur le site de Lillion les apports de surface sont connus par les étangs (Schroëtter, 2011), à Médréac, des apports par le ruisseau St M'Hervon sont aussi supposés (Talbo et al., 2001), sur d'autres sites tels que Saint-Aubin-d'Aubigné des apports de l'encaissant sont supposés (Brunnel et Talbo, 1978).

L'importance de ce ratio sur de nombreux sites montre des systèmes complexes ne se limitant pas, contrairement aux idées reçues, aux seuls bassins sédimentaires. Il est donc nécessaire de prendre en compte ces éléments pour l'exploitation et la sécurisation des sites d'exploitation.

3.4. BASSINS SEDIMENTAIRES NON EXPLOITES POUR LES RESSOURCES EN EAU

3.4.1. Méthodologie

La recherche de bassins sédimentaires non exploités a été réalisée par croisement des bases de données BD LISA, du schéma régional des carrières, et les cartes géologiques mises en relation avec les bases de données des captages AEP et les informations des syndicats d'eau potable (SMG35).

Les informations (telles que la nature et la profondeur) sur les bassins identifiés ont été recherchées à partir des points BSS au droit de ces bassins ou à proximité pour en vérifier l'extension.

Les critères de recherche et de sélection ont été dans un premier temps l'extension spatiale des bassins, puis la profondeur et les exploitations sur et autour des bassins tels que les carrières et les captages AEP à proximité des bassins.

3.4.2. Résultats

Le recensement des bassins sédimentaires a permis de répertorier 47 bassins non exploités pour l'eau potable à l'échelle de la région. Ces bassins sont listés dans le tableau annexe 1.

Toutefois une majorité de ces bassins sont de taille très réduite et leurs lithologies ou des contraintes (présence de carrière, proximité de la côte...) ne permettent pas d'envisager *a priori* leur exploitation pour l'alimentation en eau potable.

En considérant des critères de taille et de volume de renouvellement (calculé à partir de la surface et des précipitations efficaces locales) une vingtaine de bassins pourrait présenter un intérêt hydrogéologique (Illustration 23).

Nom du bassin	Département	Surface en ha (BDLISA et SRC)	Pluie efficace (mm) 1946-2001	Renouvellement théorique (m3/an)
La-Roche-Bernard - Béganne Saint-Dolay	56	1000	256	2 560 000
Neuliac	56	536.46	434	2 328 236
Quimper - Gouesnach	29	250	605	1 512 500
Grand-Fougeray	35	300	264	792 000
Locminé	56	184	363	667 920
Pacé l'Hermitage	35	271.45	167	453 322
Saint-Aubin-du-Cormier	35	212.27	196	416 049
Brech	56	99	393	389 070
Mohon - la Trinité-Porhoët	56	122.48	258	315 998
Guitté	22	150	202	303 000
Pontivy	56	83	361	299 630
Saint-Séglin	35	77.97	229	178 551
Saint-Malo-de-Phily	35	81.4	194	157 916
Sainte-Colombe	35	73	176	128 480
Teillay	35	39.04	207	80 813
La Gacilly	56	30	258	77 400
Pipriac (Bouëssic)	35	38.32	196	75 107
Pipriac (La Cohiais)	35	32.71	196	64 112
Saint-Sauveur-des-Landes (La Boyère)	35	9.51	316	30 052
Guipel	35	3.4	188	6 392

Illustration 23 : Caractéristiques des principaux bassins sédimentaires non exploités

3.5. BASSINS SEDIMENTAIRES EXPLOITES POUR LES GRANULATS

Les bassins sédimentaires bretons constituent non seulement des ressources en eau souterraine importantes mais aussi, notamment les remplissages de sables Pliocènes, des gisements de matériaux pour la construction. Un recensement des carrières et des potentiels d'exploitation des sables pliocènes a été réalisé dans le cadre du Schéma Régional des Carrières (SRC - Schroëtter et al., 2017).

Ainsi, plusieurs bassins sont à la fois exploités pour l'eau potable et les granulats, comme à Radenac (56) et à Lillion (35), et rares sont les bassins qui ne sont exploités ni pour l'eau potable ni pour les ressources minérales.

Ce double intérêt peut générer des conflits d'usage. Par exemple, plusieurs activités sont concomitantes au niveau de la sablière de Lillion - Les Bougrières (Illustration 24), située sur les communes de Rennes et Saint-Jacques-de-la-Lande (35) :

- Exploitation du gisement de sables pliocènes de l'étang de Lillion (Nord et Sud) par LAFARGE granulats

- Exploitation de 2 captages souterrains d'eau potable dans l'aquifère des sables pliocènes (entre les étangs de Lillion et des Bougrières) par le Syndicat Intercommunal des Eaux de Lillion (pour un volume d'environ 1,3 million de m³/an)
- Exploitation temporaire d'un captage d'eau superficielle pour l'eau potable dans l'étang des Bougrières par Eau du Bassin Rennais

Cette double activité n'a pas rencontré de problème particulier au niveau de Lillion. En 2011, une demande de renouvellement de l'exploitation des sables de Lillion et une demande d'extension de la carrière au niveau de l'étang des Bougrières ont été déposées. La question de l'impact de l'exploitation des sables sur l'eau de l'étang des Bougrières s'est donc posée, les périmètres de protection de la prise d'eau de surface étant en cours de définition à ce moment-là. Le BRGM, sollicité par la DREAL Bretagne sur ce dossier, avait préconisé un phasage de l'exploitation permettant d'adapter le prélèvement d'eau potable aux contraintes de qualité (Schroëtter, 2011). La coexistence de l'exploitation de sables pliocènes pour l'eau potable et en tant que ressource minérale n'est pas incompatible mais nécessite une bonne concertation entre les carriers et les syndicats d'eau.

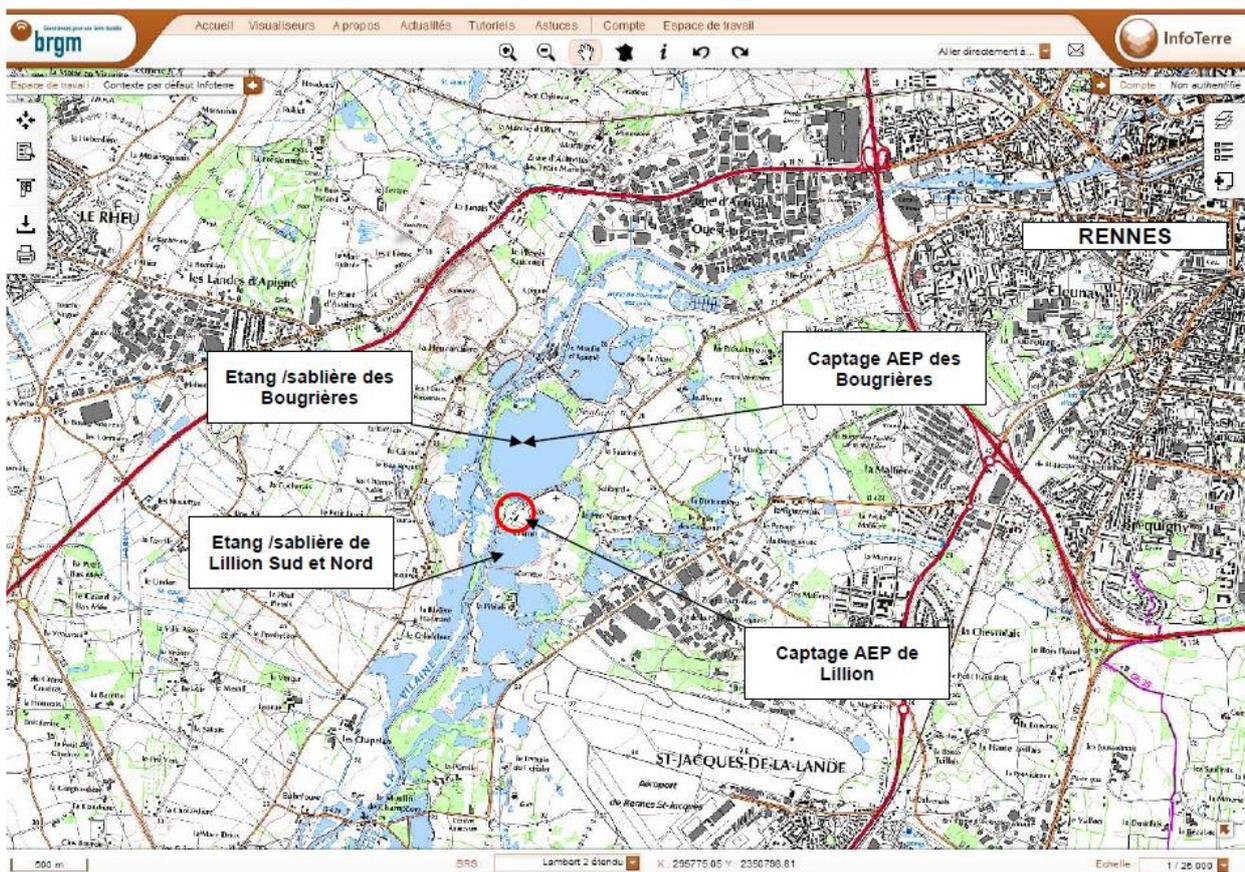


Illustration 24 : Extrait du site InfoTerre avec localisation des sablières et des captages d'eau potable (fond IGN au 1/25 000)

A Radenac (56), un compartiment de sables pliocènes est exploité en parallèle par un carrier pour la production de granulats (carrière du Moulin) et pour l'eau potable (captage de Pertu rouge - Illustration 25). Les deux activités ont coexisté pendant plus de 30 ans mais le projet d'extension de la carrière au niveau du périmètre de protection rapproché du captage d'eau potable a suscité des tensions entre les différents acteurs concernés (carrier, syndicat d'eau potable, services de l'Etat, communes concernées par le projet, agriculteurs et riverains). Des investigations ont été

menées entre 2010 et 2015 par le carrier pour caractériser l'alimentation du captage et rechercher des ressources d'eau souterraine de substitution, sans succès. Aucune solution n'ayant été trouvée, la carrière sera prochainement fermée.

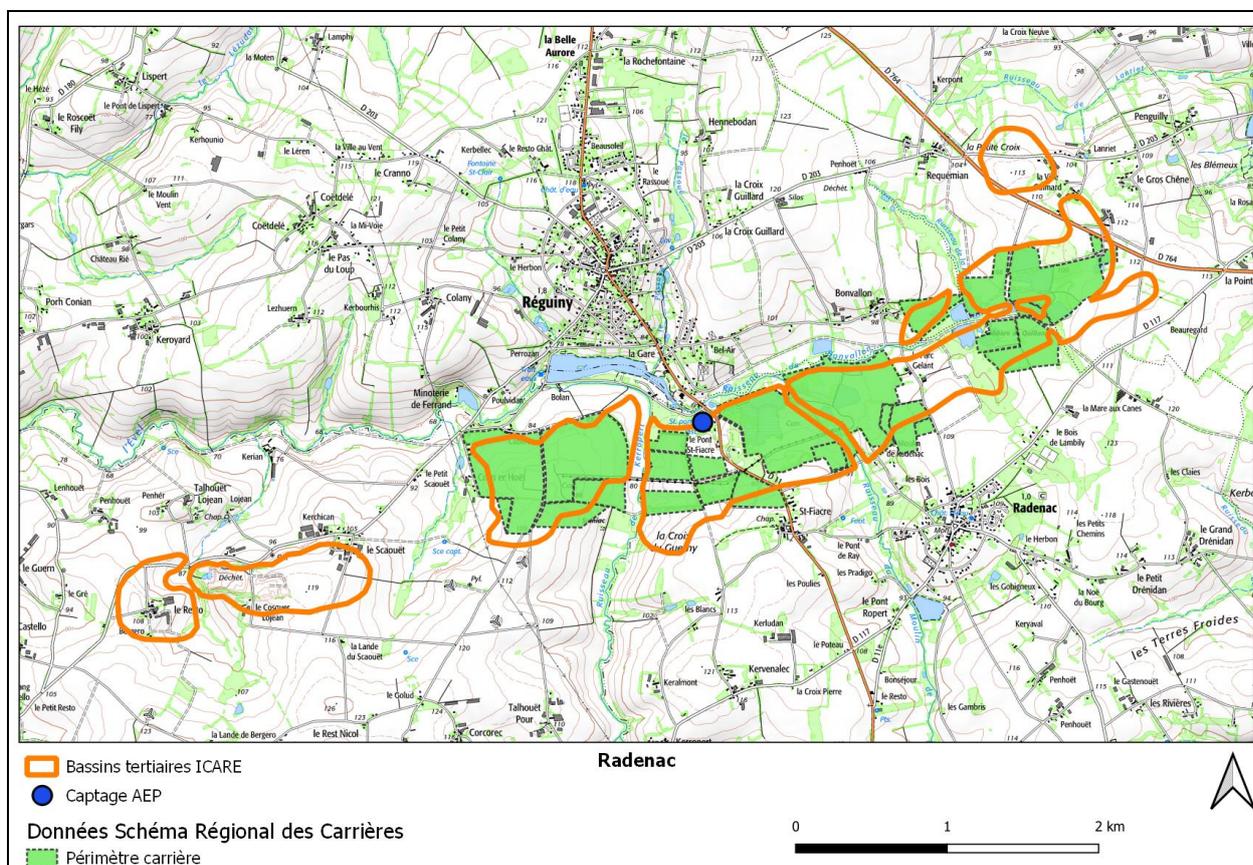


Illustration 25 : Localisation des carrières et du captage d'eau potable de Pertu rouge à Radenac

4. Qualité chimique des bassins

4.1. ÉLÉMENTS MAJEURS

La composition des eaux en éléments majeurs dissous (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, CO₃, Cl, SO₄, NO₃, SiO₂) permet de déterminer le faciès chimique des eaux, qui est lié aux formations géologiques rencontrées par les eaux au cours de leur parcours souterrain et aux apports anthropiques.

Parmi les 56 captages souterrains d'eau potable présents sur les bassins tertiaires, 48 disposent d'analyses physico-chimiques dans ADES (Illustration 26). Les analyses physico-chimiques disponibles sur ces 48 qualitomètres ont été extraites du site ADES.

Bassin	Exploitation AEP	Nombre de qualitomètres ADES
Le Quiou-Tréfumel (22) - Evran (35)	Oui	3
Chartres-de-Bretagne/Bruz/Rennes	Oui	6
Dingé (La Motte aux Anglais)	Oui	2
Feins (La Chaumière)	Oui	2
Gahard (La Tournerie)	Oui	4
Landujan / Chapelle-du-Lou	Oui	3
Langon	Oui	3
Lassy (La Chapinai)	Oui	1
Le-Theil-de-Bretagne (La Groussinière)	Oui	2
Médreac (La Bouexière)	Oui	1
Mernel	Oui	1
Pipriac (Le Meneu)	Oui	1
Retiers Le-Theil-de-Bretagne (La Cité)	Oui	3
Saint-Aubin-d'Aubigné (La Douettée - Beaugard)	Oui	2
Saint-Georges-du-Chesné	Oui	1
Saint-Grégoire (La Noë)	Oui	2
Saint-Jean-sur-Couesnon	Oui	1
Saint-Senoux (Bourhan)	Oui	1
Plouhinec	Oui	1
Port-Louis Lorient / Riante	Oui	2
Radenac (Le Pertu Rouge)	Oui	1
Argentré-du-Plessis (Les Feux Chalines)	Abandonné	0
Guenroc (Village Cariou)	Abandonné	0
Guipry-Messac (La Rabine)	Abandonné	1
Lohéac	Abandonné	1
Rannée (La Gaumonerie)	Abandonné	2
Mohon (Casteldec)	Abandonné	1
TOTAL		48

Illustration 26 : Nombre de qualitomètres ADES par bassin

4.1.1. Balance ionique

Afin de s'assurer de la fiabilité des analyses chimiques, la balance ionique a été calculée pour toutes les analyses disponibles.

Elle est calculée par différence (en pourcentage) entre les ions de charge positive (cations) et les ions de charge négative (anions). Cette théorie physique se base sur le principe de

l'électroneutralité des eaux, c'est-à-dire l'égalité entre la somme des cations et la somme des anions.

Le calcul de la balance ionique se fait grâce à la formule suivante :

$$\text{Balance ionique} = 100 \times \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}}$$

où les sommes des anions et des cations sont exprimées en meq/L.

La fiabilité de l'analyse au regard de la balance ionique est considérée comme :

- excellente pour une balance entre -1 et + 1 %
- acceptable pour une balance entre -5 et + 5 %
- médiocre pour une balance entre -10 et + 10 %
- mauvaise pour des balances inférieures à -10 % et supérieures à + 10 %.

Au-delà de 10 %, la balance met en évidence un problème dans le résultat d'analyse (analyse manquante pour un élément, problème échantillon, problème laboratoire, etc.).

Seules les analyses avec des balances ioniques inférieures à 5% ont été utilisés dans le cadre de cette étude.

4.1.2. Faciès chimique

Le diagramme de Piper est la représentation la plus appropriée pour déterminer le faciès chimique des eaux souterraines. En effet, il permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès chimique de l'eau concernée.

L'ensemble des ouvrages présents sur les bassins avec des données sont placés dans le diagramme suivant (Illustration 27).

Diagramme de Piper

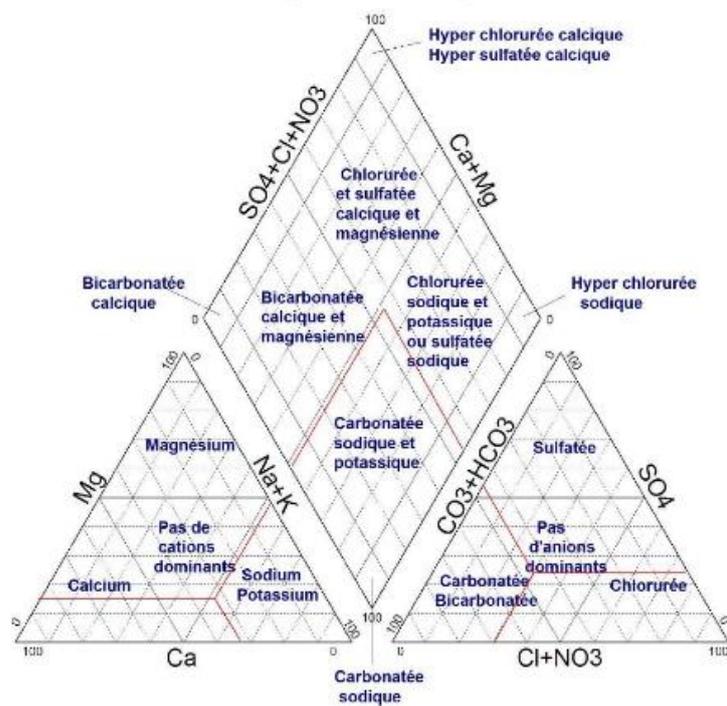


Illustration 27 : Représentation des faciès d'une eau sur un diagramme de Piper

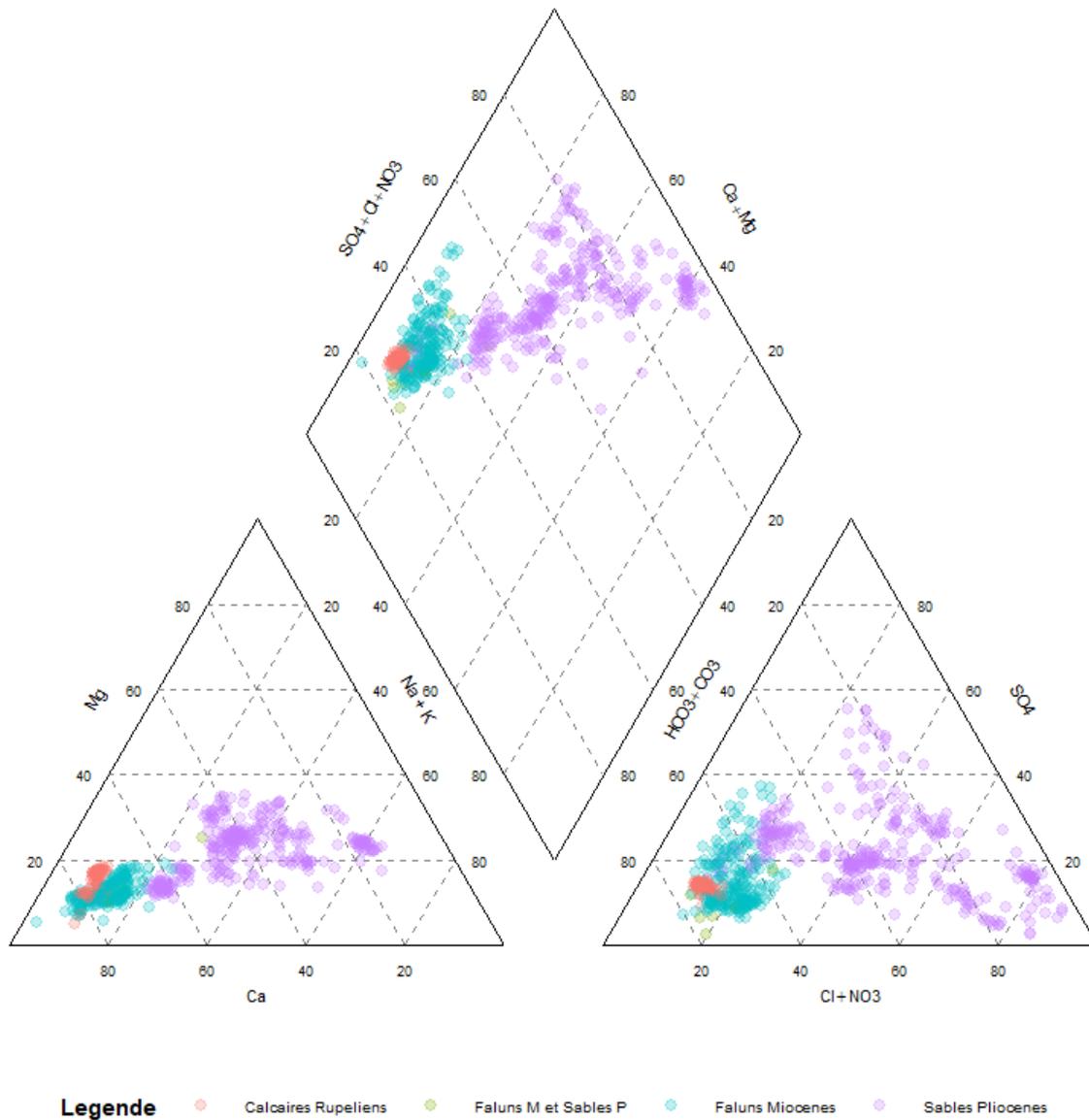


Illustration 28 : Diagramme de Piper de l'ensemble des mesures disponibles par lithologie (balance ionique à $\pm 5\%$ maximum)

Cette représentation montre des géochimies proches pour les calcaires rupéliens (en rouge) et les faluns miocènes (cyan) tous présents dans la pointe gauche du losange, représentant des eaux bicarbonatées calciques. Ces deux lithologies sont très regroupées et ne montrent que peu de variations. En revanche les sables pliocènes (en violet) sont très dispersés et indiquent des contextes très différents incluant des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, chlorurées et sulfatées calciques et chlorurées sodiques et potassiques.

Pour les sables pliocènes une différenciation par site a été effectuée Illustration 29.

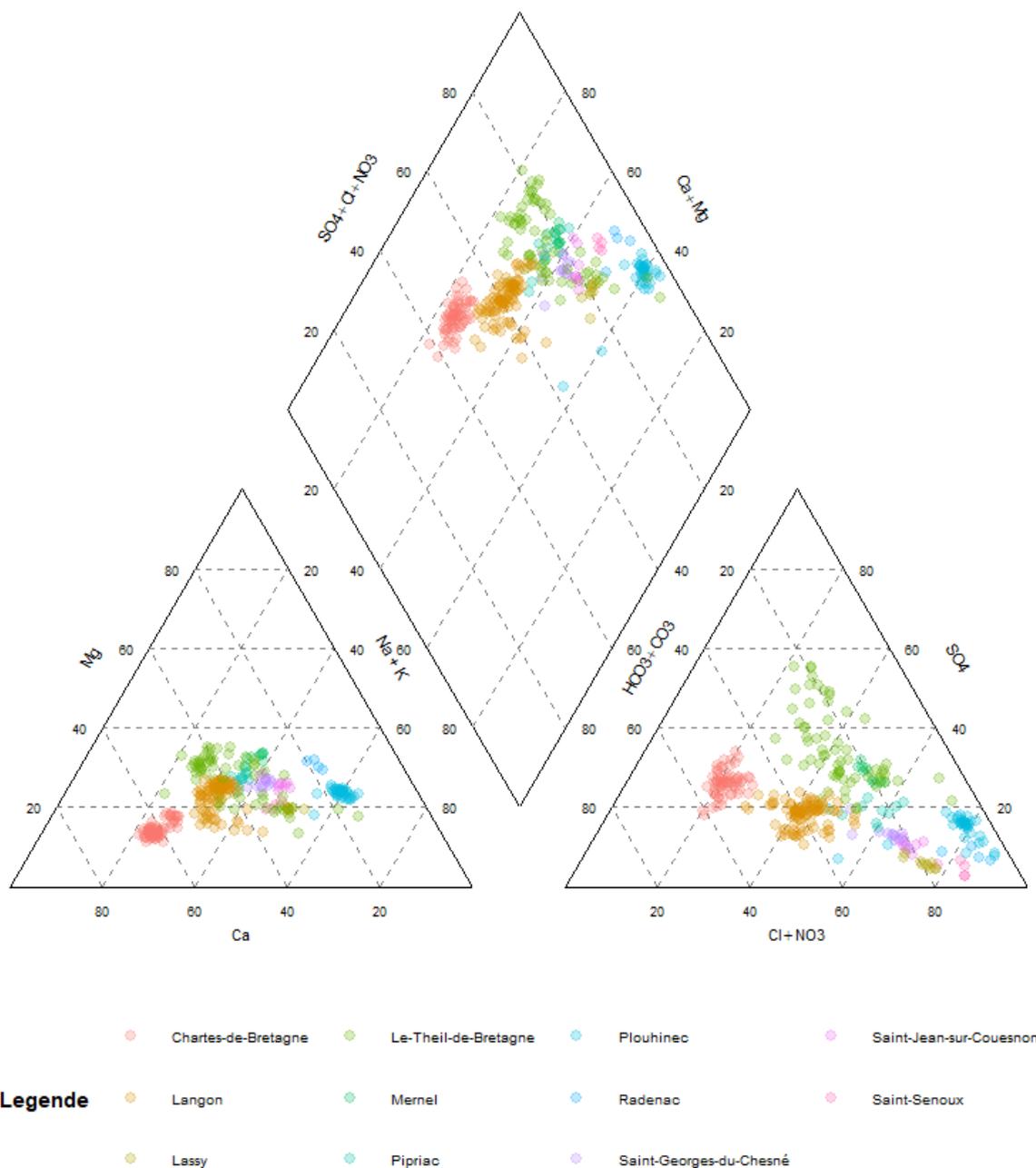


Illustration 29 : Diagramme de Piper des sables pliocènes par site (balance ionique à $\pm 5\%$ maximum)

La répartition par site des sables pliocènes montre les éléments suivants pour les différents sites :

- A l'extrême gauche du losange, on observe que le site de Lillion sur le bassin de Chartres de Bretagne, implanté dans les sables pliocènes, a une signature chimique de faluns.
- Le site du Theil-de-Bretagne présente une variation importante de sa chimie entre les forages et au cours du temps notamment en raison d'une augmentation des sulfates, et dans une moindre mesure du calcium. Ces augmentations ont aussi visibles pour le fer et le manganèse mais à des concentrations faibles.

- Le site de Plouhinec est situé à l'extrémité droite du losange en raison de concentrations en chlorures relativement importantes, liées à la proximité de la côte.

4.1.3. Composés azotés

Il existe différentes sources anthropiques d'azote dans le milieu :

- Azote issu de rejets échappant aux stations d'épuration et à l'assainissement non collectif (flux variable selon l'occupation du sol et les performances épuratoires),
- Azote d'origine agricole (source prépondérante), issu du lessivage des sols ayant bénéficié d'engrais azotés minéraux et organiques,
- Minéralisation des sols.

L'ion nitrate (NO_3^-) est la forme la plus oxydée de l'azote. Les sources naturelles de nitrates sont principalement les pluies et les interactions avec le sol et la végétation. Les teneurs en nitrates dans les eaux naturelles dépendent de nombreux processus biogéochimiques qui constituent le cycle de l'azote. A l'état naturel, les concentrations en nitrates sont faibles (quelques mg/L au maximum). On admet généralement qu'une teneur supérieure à 10 mg/L traduit un apport anthropique.

La directive fille eaux souterraines 2006/118/CE et l'arrêté du 17 décembre 2008 fixent une norme de qualité à l'échelle européenne pour les **nitrates** de 50 mg/L. Cette teneur de 50 mg/L constitue également la référence de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine dans l'arrêté du 11 janvier 2007.

13 qualitomètres ont présenté des dépassements de la limite de qualité de 50 mg/L de nitrates (Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine).

Actuellement une majorité des qualitomètres présente des concentrations en nitrates en baisse et sous le seuil de 50 mg/L. Des concentrations en hausse sont observées sur les sites de Dingé (La Motte aux Anglais) et Lassy (La Chapinais) avec des concentrations maximales actuelles autour de 25 mg/l. Le site de Mernel (Illustration 30) présente des concentrations proches de 50 mg/l et sur les sites de Ville Bézy et Bleuquen sur le bassin du Quiou les concentrations sont en hausse avec des valeurs proches de 50 mg/l (Illustration 31 et Illustration 32).

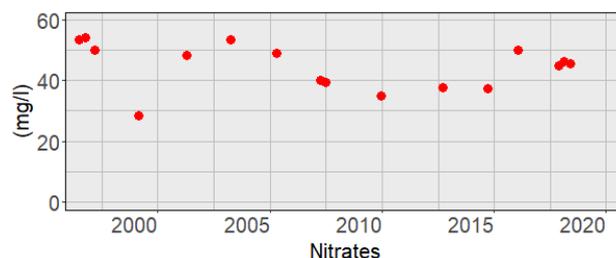


Illustration 30 : Evolution des concentrations en nitrates sur le site de Mernel (BSS003EFZM/X)

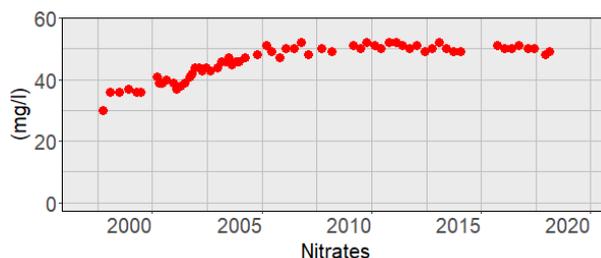


Illustration 31 : Evolution des concentrations en nitrates sur les forages de Ville Bezy 02812X0213/F (Bassin du Quiou)

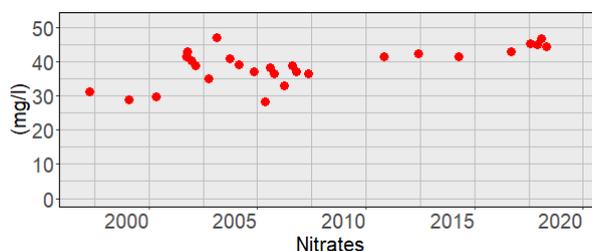


Illustration 32 : Evolution des concentrations en nitrates sur le forage 02812X0060/F du site Bleuquen (Bassin du Quiou)

Les **nitrites** (NO_2^-) sont peu stables dans les eaux souterraines et constituent donc un bon indicateur de contamination locale des eaux souterraines. Il s'agit d'un élément intermédiaire entre l'ammonium (présent en milieu réducteur) et les nitrates (en milieu oxydant). La limite de qualité pour les nitrites est de 0,5 mg/L pour les eaux destinées à la consommation humaine (arrêté du 11 janvier 2007). Seul le site de Landujan (Forage Tizon) a présenté des dépassements de cette limite avant 2013.

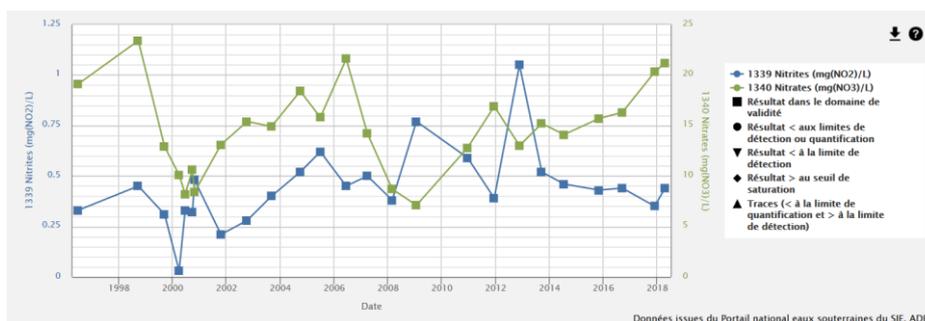


Illustration 33 : Evolution des concentrations en nitrates et nitrites sur le site de Landujan (Forage Tizon 02816X0057/F)

4.1.4. Chlorures

L'ion **chlorure** (Cl^-) est la forme prédominante du chlore dans les eaux naturelles. L'ion chlorure participe rarement à des réactions chimiques, si bien que, quelle que soit la lithologie, les teneurs en chlorure sont généralement faibles dans les eaux souterraines (Chéry, 2006). Sur les bassins sédimentaires bretons les concentrations sont faibles (~40 mg/l) à l'exception du site de Plouhinec qui présente des concentrations plus fortes (60 à 96 mg/l) en raison de sa proximité à la côte.

4.1.5. Sulfates

L'ion **sulfate** (SO_4^{2-}) est la forme prédominante du soufre dans les eaux naturelles. Il est essentiellement lié à l'oxydation de minéraux riches en soufre (comme la pyrite).

Certains forages présentent des évolutions importantes de ce paramètre tel que le forage F2bis sur le site de la Cité au Theil-de-Bretagne (35), où l'évolution pourrait être liée à des phénomènes de mélange. Sur d'autres sites, l'évolution pourrait être en lien avec un phénomène de dénitrification comme à Plouhinec (56).

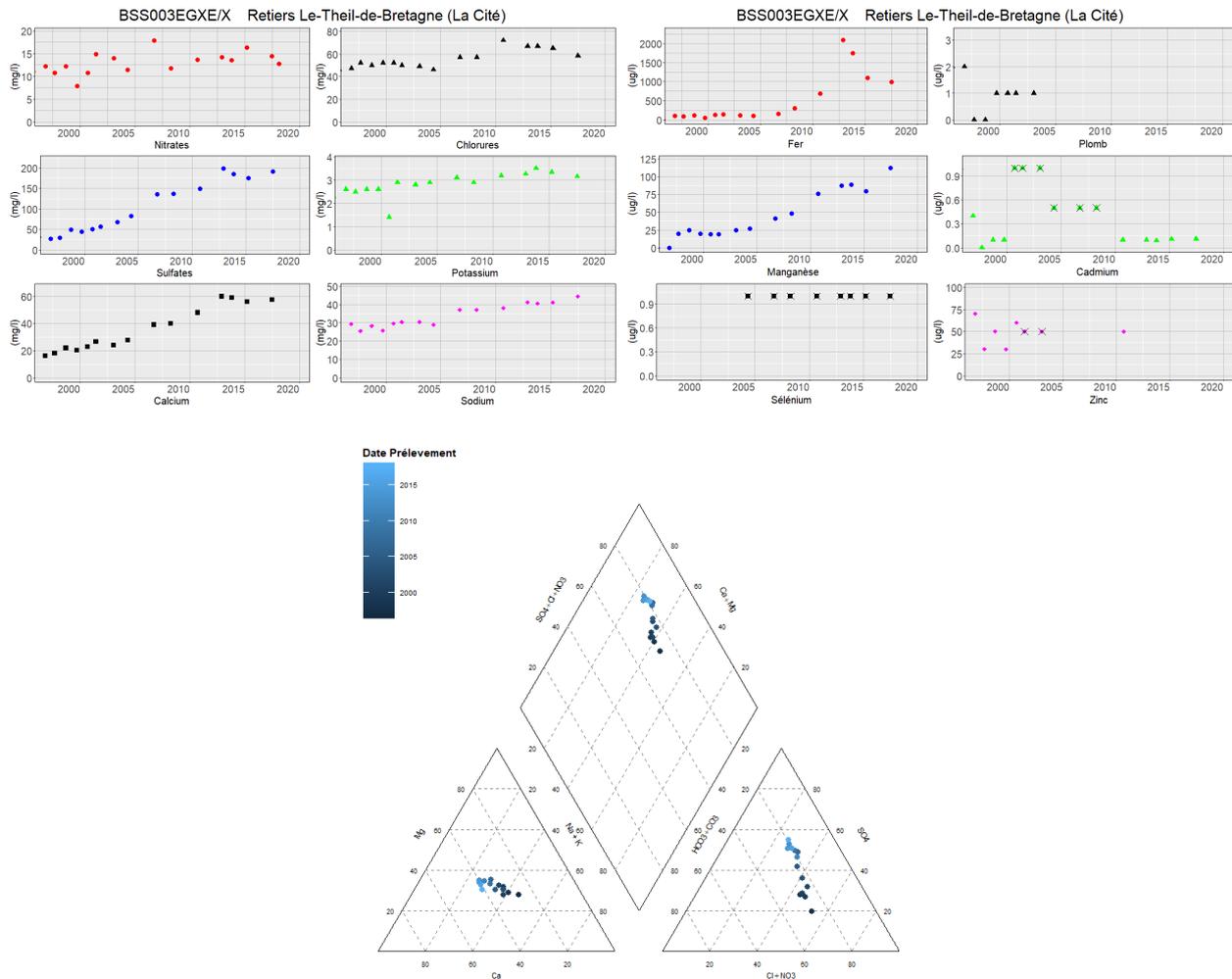


Illustration 34 : Evolution principaux éléments chimiques dans le forage F2bis (BSS003EGXE) La Cité au Theil-de-Bretagne (en haut) et diagramme de Piper (en bas)

4.2. AUTRES ÉLÉMENTS

4.2.1. Fer

La référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine est fixée à 200 µg/L (arrêté du 11 janvier 2007).

Les concentrations en fer importantes sont courantes à l'échelle régionale. 32 des 42 qualitomètres ont présenté au moins un dépassement des concentrations en fer au-dessus de la limite de qualité de 200 µg/L.

Récemment les sites de Dingé, Feins, Gahard, Theil de Bretagne, Saint-Georges-de-Chesné présentent de manière régulière des concentrations supérieures voire très supérieures à 200 µg/L.

Ces fortes concentrations en fer dans des formations sédimentaires sont étonnantes et peuvent être un indicateur d'apport d'eau de l'encaissant.

4.2.2. Manganèse

Le **manganèse** (Mn^{2+}) est naturellement présent dans les roches de socle. Sa présence sous forme dissoute dans les eaux souterraines dépend de l'état d'oxydo-réduction du système (teneurs plus élevées en milieu réducteur). La référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine est fixée à 50 µg/L (arrêté du 11 janvier 2007).

32 captages présentent des dépassements de la référence de qualité pour le manganèse (50 µg/L).

4.2.3. Fluorures

Le fluor est présent dans les eaux souterraines sous forme d'ion **fluorure** (F^-). La limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine est de 1,5 mg/L (arrêté du 11 janvier 2007).

Aucune analyse ne dépasse cette limite de qualité.

4.3. PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Des analyses de produits phytosanitaires sont disponibles pour 42 qualitomètres, sur les 48 situés dans les bassins tertiaires.

4.3.1. Molécules quantifiées

73 pesticides ont été quantifiés sur ces 42 qualitomètres présents dans les bassins sédimentaires. L'ensemble de ces 42 qualitomètres comporte au moins une molécule quantifiée. En moyenne, 10 molécules sont quantifiées par qualitomètre. A l'extrême, 2 qualitomètres présentent jusqu'à 37 molécules quantifiées (02827X0013/P – La Douettée – St-Aubin-d'Aubigné et 03538X0011/S – Forage de la Groussinière n°4 – Le-Theil-de-Bretagne).

Les molécules les plus quantifiées sont l'atrazine (260 quantifications sur 35 qualitomètres) et ses métabolites, l'atrazine-déséthyl (256 quantifications sur 36 qualitomètres) et la 2-hydroxy atrazine (242 quantifications sur 26 qualitomètres), le diuron (83 quantifications, 18 qualitomètres concernés) la simazine (81 quantifications, 21 qualitomètres concernés), l'isoproturon (56 quantifications, 19 qualitomètres concernés) et l'atrazine désisopropyl (56 quantifications, 20 qualitomètres concernés). Il s'agit également des molécules les plus recherchées (voir nombre d'analyses entre parenthèses sur l'illustration 35).

Si l'on s'intéresse aux taux de quantification de ces 73 molécules, c'est-à-dire au pourcentage d'analyses dont le résultat est supérieur à la limite de quantification (code remarque = 1 dans ADES), on constate que seulement 9% des 18 025 analyses sont supérieures à la limite de quantification (Illustration 35). En bas du graphique (Illustration 35), on retrouve les molécules peu recherchées : il s'agit de métabolites de plusieurs herbicides de la famille des chloroacétanilides (métolachlore, métazachlore, acétochlore, alachlore, dimethenamide et dimetachlore et leurs métabolites ESA et OXA), peu analysés . Ces molécules ont des taux de quantification très élevés, souvent supérieurs à 50%. Il semble donc important d'étendre le suivi de ces molécules à l'ensemble des qualitomètres.

4.3.2. Dépassement de la limite de qualité

19 molécules présentent des dépassements de la limite de qualité fixée à 0,1 µg/L (arrêté du 11 janvier 2007). Ces dépassements concernent 30 qualitomètres. Les molécules présentant le plus grand nombre de dépassements sont la 2-hydroxy-atrazine (72 dépassements sur 12 qualitomètres) et l'atrazine déséthyl (59 dépassements sur 15 qualitomètres), l'atrazine (58 dépassements sur 13 qualitomètres).

L'illustration 36 présente le nombre de qualitomètres avec quantification et dépassement de la limite de 0,1 µg/L pour chaque molécule quantifiée au moins 3 fois.

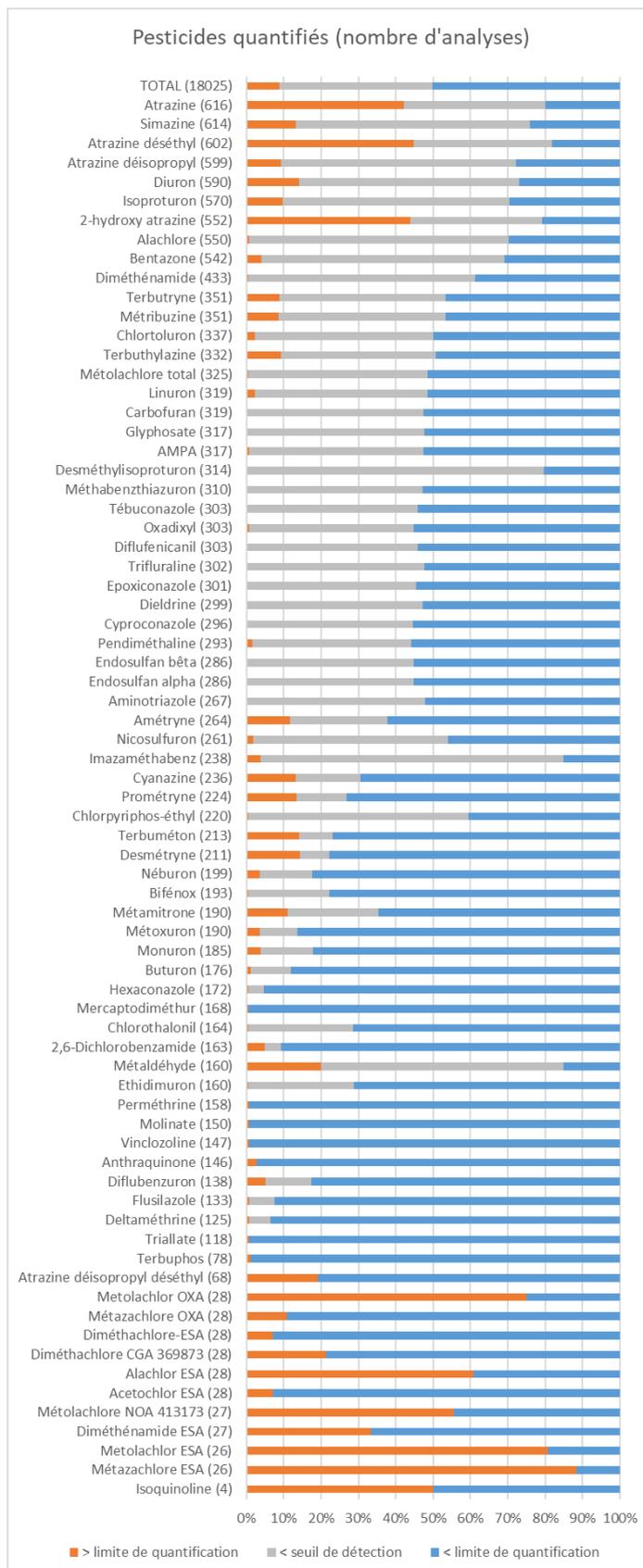


Illustration 35 : Taux de quantification des produits phytosanitaires sur les bassins tertiaires (molécules classées par ordre décroissant du nombre d'analyses)

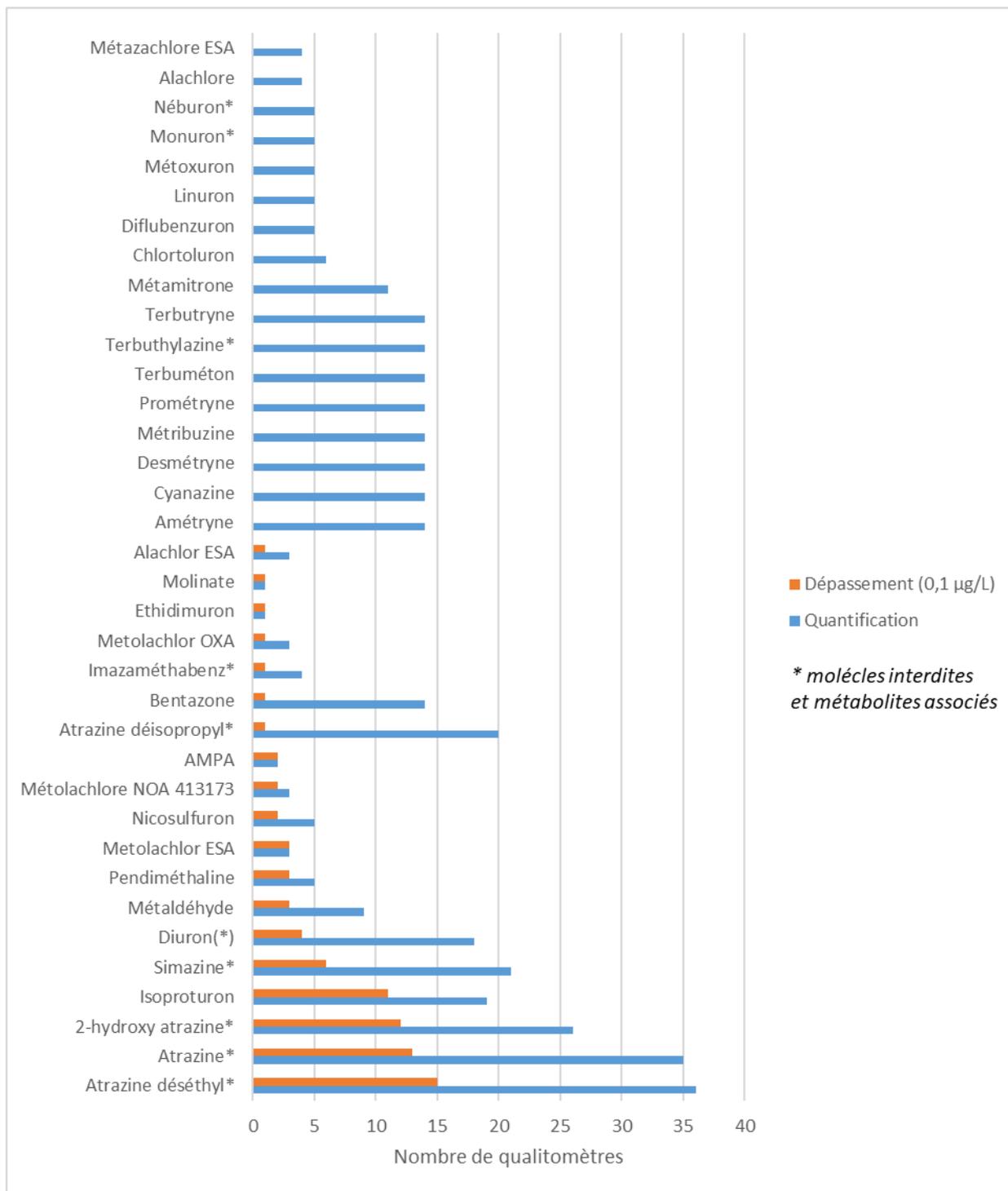


Illustration 36 : Nombre de qualitomètres avec dépassement de la norme de 0,1 µg/L en pesticides pour les molécules quantifiées au moins 3 fois

Un seul qualitomètre présente un dépassement de la valeur de 0,5 µg/L pour la somme des pesticides (02812X0213/F – Ville Bézy F1 - Tréfumel). Les pesticides individuels sont plus pénalisants que la somme des pesticides (il faut noter que le paramètre « somme des pesticides totaux » n'est pas systématiquement calculé et renseigné dans ADES).

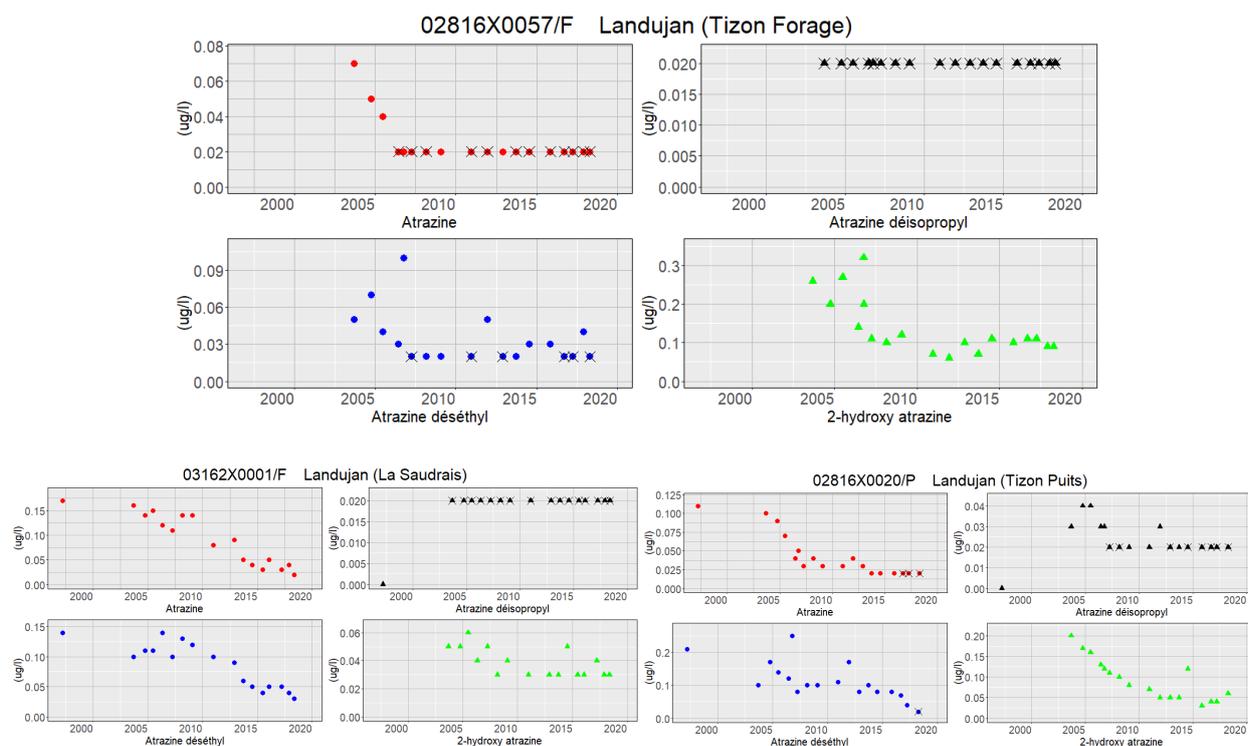
NB : des HAP, des solvants chlorés et des PCB ont été quantifiés sur 14 qualitomètres, notamment sur le puits de la Briquerie n°3 à Langon (03878X0165/P3) et sur le bassin de Rennes, sans aucun dépassement des limites de qualité fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007.

4.3.3. Atrazine et métabolites

Les concentrations en atrazine ont été étudiées en prenant en compte ses métabolites (Atrazine-deisopropyl, Atrazine-déséthyl, 2-hydroxy-atrazine, Atrazine-2-hydroxy-desethy, Atrazine-deisopropyl-deséthyl). 19 forages ont connu des dépassements du seuil de 0.1 µg/l (source ADES) sur les 42 analysés. L'atrazine, interdite depuis 2003 est actuellement peu présente à des concentrations élevées. Le métabolite qui dépasse récemment le plus les seuils est le 2-hydroxy-atrazine. C'est notamment le cas sur les captages de Lillion (forage et puits), Landujan et Médréac.

Certains sites ont connu des dépassements récents (Gahard fin 2014, dernière mesure disponible ; Dingé en 2015 ; Chartres (La Marionnaise) 2016).

L'exemple des mesures réalisées sur le site de Landujan est présenté Illustration 37.



*Illustration 37 : Evolution des concentrations en atrazine et ses métabolites sur le bassin de Landujan
Aucune donnée n'est disponible sur ces ouvrages pour les autres métabolites (Atrazine-2-hydroxy-desethyl et Atrazine-deisopropyl-desethyl).*

4.4. ELÉMENTS INDÉSIRABLES

On ne note aucun dépassement des limites de qualité pour les paramètres suivants : arsenic, baryum, bore, chrome, cuivre, fluorures, mercure, zinc.

Plusieurs éléments traces sont détectés sur les captages AEP présents dans les bassins tertiaires bretons et sur certains captages, les limites de qualité sont dépassées pour les éléments suivants :

- Plomb (limite de qualité : 10 µg/L) : 9 captages concernés (bassins de Rennes-Lillion, Le Quiou, Dingé, La Chapelle du Lou, Lohéac, Médréac, Pipriac et Saint Senoux). Il s'agit de dépassements ponctuels (1 à 2 dépassements par qualitomètre), antérieurs à 1997.
- Sélénium (limite de qualité : 10 µg/L) : 5 captages concernés (bassins de Gahard et Saint-Aubin-d'Aubigné (faluns) et Rennes-La Pavais (calcaires oligocènes)).
- Nickel (limite de qualité : 20 µg/L) : 4 captages concernés (bassins de Dingé (faluns) et du Theil-de-Bretagne - La Cité et La Groussinière – sables pliocènes)). Les dépassements sont ponctuels mais peu d'analyses sont disponibles et les teneurs sont non négligeables sur ces deux bassins.
- Cadmium (limite de qualité : 5 µg/L) : 1 captage concerné sur le bassin de Rennes (captage de La Marionais avec un seul dépassement de la limite qualité en 1994, toutes les autres analyses sont inférieures à 1,5 µg/L).
- Antimoine (limite de qualité 5 µg/L) : 1 captage concerné sur le bassin de Gahard (un seul dépassement en 2017).

Dans le cadre de l'étude par approche globale des fonds hydrogéochimiques des eaux souterraines sur le bassin Loire-Bretagne (Devau *et al.*, 2017), quelques points d'eau présents dans les bassins tertiaires bretons (Gahard, Feins, Dingé, Le Quiou et Chartres-de-Bretagne) ont été analysés (éléments majeurs, mineurs et traces) pour compléter les données disponibles, en avril 2017. On note 2 dépassements des limites de qualité lors de ces analyses :

- Teneur en sélénium de 30,66 µg/L à Gahard (faluns)
- Teneur en nickel de 28,34 µg/L à Dingé (faluns)

Les paramètres sélénium et nickel semblent donc importants à suivre sur ces forages.

5. Bassins retenues pour la consultation sur les Nappes réservées à l'Alimentation en Eau Potable (NAEP)

5.1. DÉFINITION DES NAEP

L'orientation 6E du SDAGE vise à réserver certaines ressources à l'alimentation en eau potable. Cette volonté de préservation est apparue dès le premier SDAGE en 1996 suite au constat de la dégradation de la qualité des eaux d'aquifères naturellement protégés par des forages mal réalisés les mettant en communication avec des aquifères plus superficiels et de mauvaise qualité.

Dès lors, dans le bassin Loire Bretagne, les nappes captives du domaine sédimentaire ainsi que les aquifères du domaine volcanique du massif central ont été classées Nappes réservées à l'Alimentation en Eau Potable (NAEP).

La disposition 6E1 du SDAGE permet aux services de l'Etat de refuser tout nouveau prélèvement dans ces nappes pour un autre usage que l'alimentation eau potable par adduction publique. Il n'y a pas de remise en cause des ouvrages et prélèvements existants pour les autres usages.

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et l'Agence Régionale de la Santé Bretagne ont également souhaité délimiter des NAEP en Bretagne. En complément du projet ANAFORE (Schroëtter, 2020) qui s'intéresse aux zones productives dans les aquifères de socle, le projet ICARE, en hiérarchisant les bassins sédimentaires tertiaires productifs ou potentiellement productifs compte-tenu de leur extension et de leur remplissage, a permis de sélectionner un certain nombre de bassins qui seront proposés comme NAEP pour le SDAGE 2022-2027 et soumis à consultation publique au printemps 2020.

5.2. CRITÈRES DE CHOIX

Le choix des bassins retenus pour la consultation en vue de la classification en Nappes réservées pour l'Alimentation en Eau Potable (NAEP) a été effectué par les partenaires techniques du projet sur la base des informations fournies par le BRGM :

- Agence de l'Eau Loire Bretagne
- Agence Régionale de Santé Bretagne
- Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Bretagne
- Les syndicats d'eau :
 - Syndicat Mixte de Gestion pour l'approvisionnement en eau potable d'Ille-et-Vilaine (SMG35)
 - Eau du Morbihan
 - Syndicat Départemental d'Alimentation en Eau Potable des Côtes d'Armor (SDAEP22)

Les éléments de sélection ont été les suivants :

- Qualité de l'eau souterraine
- Quantité (productivité)
- Géologie (lithologie)
- Géométrie (surface et épaisseur)
- Géographie
- Projets futurs

Ces éléments de sélection font face à certaines limitations :

Qualité de l'eau : Le bilan réalisé a montré que de nombreux bassins étaient dégradés, cependant les démarches de reconquête devaient être appuyées par la protection des sites au travers des NAEP.

Quantité (productivité) : Si les capacités des sites exploités sont relativement bien connues, les informations sont limitées voire inexistantes pour les sites non exploités.

Géologie : La géologie est bien connue sur une majorité des sites exploités. Concernant les sites non exploités, les connaissances sont moindres notamment dans le cas des sables pliocènes.

Géométrie : La géométrie des bassins est connue pour une majorité des sites exploités cependant, il a été démontré sur de nombreux sites que les apports aux bassins pouvaient avoir une part importante d'apports extérieurs. Pour les sites non exploités si les surfaces peuvent être estimées, les informations sur les épaisseurs sont très rares. Toutefois des relations de proportionnalité peuvent être considérées entre profondeur et surfaces sur certains sites. De plus comme sur certains sites les bassins servent de tampons d'exploitation en collectant les eaux environnantes (ex : Gahard), ils peuvent être une opportunité de collecte même avec des tailles restreintes.

Les critères de géographie et projets futurs sont basés sur les connaissances et besoins des acteurs locaux et ne sont pas l'objet de ce rapport.

5.3. BASSINS SÉLECTIONNÉS

Les bassins sélectionnés ont été classés en priorité 1 ou 2 et se situent essentiellement en Ille-et-Vilaine. Au total, 24 bassins ont été identifiés comme pertinents et classés en priorité 1. En complément, 10 bassins non exploités, jugés potentiellement intéressants mais ne disposant pas de suffisamment de connaissances pour les proposer comme NAEP, ont été classés en priorité 2 (la connaissance des acteurs locaux est sollicitée pour ces bassins classés en priorité 2, classés de manière préventive) :

Utilisation des bassins	Priorité 1	Priorité 2
Exploité	16	0
Non exploité	8	10
Total	24	10

Des secteurs peu connus de 3 bassins tertiaires exploités (Le Quiou-Tréfumel-Evran, Mernel et St Aubin d'Aubigné) ont aussi été classés en priorité 2 afin de recueillir des informations complémentaires.

Les bassins sélectionnés sont répertoriés dans les tableaux suivants :

Nom du bassin	Dépt	Exploitation	Priorité
Le Quiou-Tréfumel (22) - Evran (35)	22	Exploité	1
Chartres-de-Bretagne/Bruz/Saint-Jacques-de-La-Lande	35	Exploité	1
Dingé (La Motte aux Anglais)	35	Exploité	1
Feins (La Chaumière)	35	Exploité	1
Gahard (La Tournerie)	35	Exploité	1
Landujan / La-Chapelle-du-Lou (prod inclut Médréac)	35	Exploité	1
Le-Theil-de-Bretagne (La Groussinière)	35	Exploité	1
Médréac (La Bouexière)	35	Exploité	1
Mernel	35	Exploité	1
Pipriac (Le Meneu)	35	Exploité	1
Retiers Le-Theil-de-Bretagne (La Cité)	35	Exploité	1
Saint-Aubin-d'Aubigné (Beauregard/La Douettée)	35	Exploité	1
Saint-Grégoire (La Noë)	35	Exploité	1
Port-Louis Lorient / Riantec	56	Exploité	1
Radenac (Le Pertu Rouge)	56	Exploité	1
Plouhinec (Pont Mouton)	56	Exploité	1

Illustration 38 : Bassins exploités retenus pour la consultation publique sur les NAEP

Nom du bassin	Dépt	Exploitation	Priorité
Janzé Sainte-Colombe	35	Non-Exploité	1
Pipriac (Bouëssic)	35	Non-Exploité	1
Pipriac (La Cohiais)	35	Non-Exploité	1
Saint-Aubin-du-Cormier	35	Non-Exploité	1
Pipriac (Saint-Séglin)	35	Non-Exploité	1
La-Roche-Bernard - Saint-Dolay	56	Non-Exploité	1
Caulnes - Guitté	22	Non-Exploité	1
Thourie	35	Non-Exploité	1
Grand-Fougeray	35	Non-Exploité	2
Saint-Malo-de-Phily	35	Non-Exploité	2
Saint-Sauveur-des-Landes (La Boyère)	35	Non-Exploité	2
Moustoir-Ac - Bignan	56	Non-Exploité	2
Saint-Thuriau	56	Non-Exploité	2
La-Trinité-Surzur	56	Non-Exploité	2
La Gacilly	56	Non-Exploité	2
Josselin	56	Non-Exploité	2
Plumergat	56	Non-Exploité	2
Merdrignac	22	Non-Exploité	2

Illustration 39 : Bassins non-exploités retenus pour la consultation publique sur les NAEP

6. Quantification, fonctionnement et pressions sur une sélection de bassins

Objectifs

En complément du recensement des bassins, réalisé à l'échelle régionale, des informations et analyses complémentaires ont été faites sur une sélection de bassins. L'objectif était de préciser sur ces bassins les connaissances disponibles, leur géométrie, leur fonctionnement et leur vulnérabilité, par une évaluation plus détaillée.

Un des objectifs était de pouvoir modéliser l'analyse en fonction des données disponibles sans devoir se limiter à des informations globales disponibles sur l'ensemble des bassins.

Le dernier objectif était de vérifier le potentiel de certains bassins non exploités.

Choix des bassins

Le choix des bassins sélectionnés a été réalisé par les partenaires du projet (AELB, SMG35, ARS, SDEAP22, EDM, BRGM). Le choix dépendait des besoins des partenaires, de la production et des données disponibles.

Les bassins majeurs tels que celui de Chartres de Bretagne ou du Quiou, jugés trop complexes dans le cadre de cette étude et faisant l'objet par ailleurs d'études spécifiques en cours, ont été exclus de ce choix. Les bassins ayant les productions les plus faibles ont aussi été exclus.

Les 13 bassins sélectionnés sont listés en Illustration 40 et Illustration 41.

Nom du bassin	Département	Exploité
Janzé Sainte-Colombe	35	Non
Landujan / La-Chapelle-du-Lou	35	Oui
Médréac (La Bouexière)	35	Oui
Pipriac (Bouëssic)	35	Non
Pipriac (La Cohiais)	35	Non
Pipriac (Le Meneu)	35	Oui
Retiers Le-Theil-de-Bretagne (La Cité)	35	Oui
Saint-Aubin-du-Cormier	35	Non
Dingé	35	Oui
Pipriac (Saint-Séglin)	35	Non
Radenac (Le Pertu Rouge)	56	Oui
La-Roche-Bernard - Saint-Dolay	56	Non
Caulnes - Guitté	22	Non

Illustration 40 : Bassins sélectionnés pour des analyses complémentaires

Une fiche par site a été rédigée. Ces 13 fiches sont disponibles dans un volume séparé confidentiel (compte-tenu du plan Vigipirate, en raison de la présence de cartes de périmètres de protection de captages). Les informations entre les différents sites pouvant être très différentes, les informations contenues dans les fiches le sont aussi.

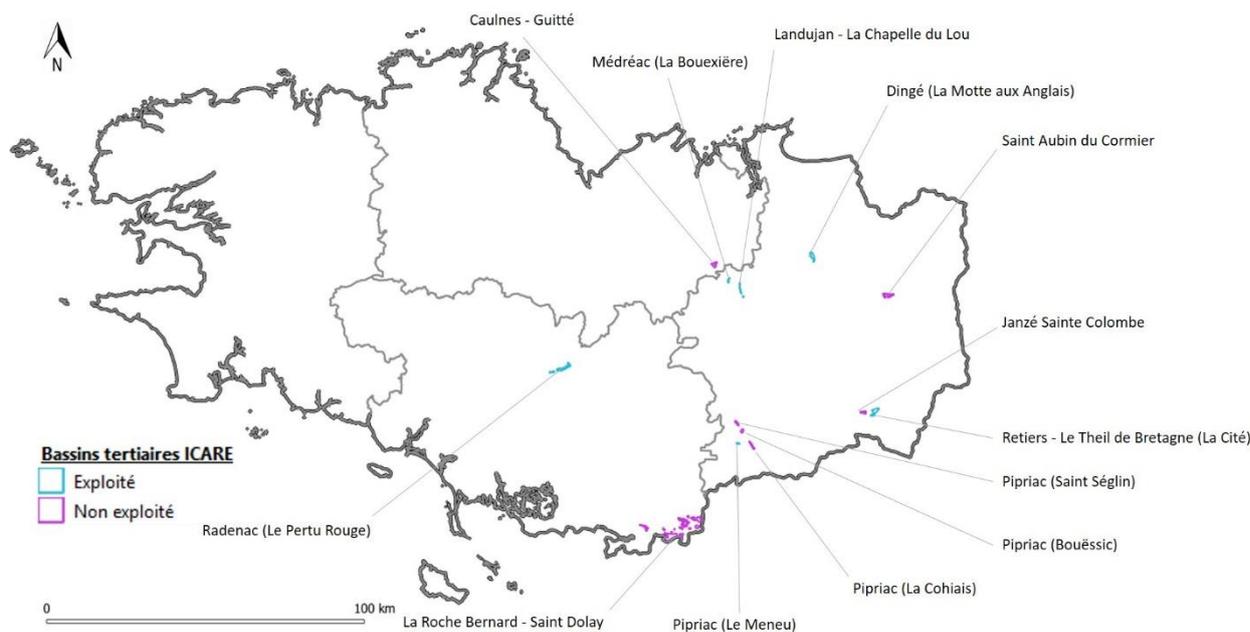


Illustration 41 : Localisation des 13 bassins sélectionnés pour des analyses complémentaires

Documents consultés

L'ensemble des rapports et données disponibles chez chacun des partenaires a été consulté. Les références de ces différentes sources d'information sont mentionnées dans les fiches.

Les rapports proviennent des études des prospections réalisées par le BRGM, des études spécifiques réalisées par les bureaux d'étude et des avis d'hydrogéologues agréés sur les différents sites.

Données disponibles

Les données disponibles sur les sites sont pour une majorité issues des bases de données nationale telles que la BSS, BDLISA BASIAS, BASOL, Corine Land Cover et les cartes géologiques.

Des données temporelles ont parfois été fournies par les partenaires telles que l'évolution des niveaux ou des débits sur les sites exploités.

Lorsque des données de niveau de nappe et débits de pompage étaient disponibles, elles ont été analysées. Le cahier des charges prévoyait des modélisations de type réservoir. Cependant les données disponibles n'étant pas suffisantes pour de telles modélisation, des analyses de tendances ont été réalisées en remplacement sur 2 sites (Médréac et Landujan). La méthodologie utilisée est fournie en annexe 2.

Lorsque des essais de pompage longue durée étaient disponibles, ils ont été réinterprétés par la méthode des dérivées. 6 essais, réalisés sur 4 sites (Landujan, Médréac, Pipriac et Dingé), ont été réinterprétés.

Investigations de terrain

Dans le cas des bassins non exploités, les données disponibles ont été complétées par des visites de terrain. Ces visites s'intéressaient à la topographie (indice de forme du bassin dans le

paysage), recherche d'affleurements, de roches en place ou autre indice géologique et sondages par tarière.

Conclusions

Ces analyses complémentaires sur une sélection de 13 sites ont permis de mettre en avant l'hétérogénéité des données disponibles et le manque général d'information sur les sites, qu'il soient ou non exploités.

Le fonctionnement hydrogéologique des sites, notamment les apports par l'encaissant s'ils sont connus, ne sont pas quantifiés.

Les analyses de tendance d'évolution des niveaux réalisées sur 2 sites (Landujan et Médréac) indiquent que les minimas atteints durant les étés et périodes de sécheresse semblent de plus en plus bas. Ce phénomène peut être relié à l'augmentation des prélèvements mais la comparaison avec des piézomètres du réseau de suivi national, théoriquement non influencés par des pompages, indique qu'il s'agirait d'une tendance plus large que les sites étudiés.

Les risques de pollutions des eaux souterraines sur les sites étudiés proviennent principalement d'activités agricoles et peu de ces bassins de moyenne importance semblent pouvoir être impactés par des activités industrielles. A noter la présence d'anciennes décharges (liées à d'anciennes carrières) à proximité de certains sites.

Concernant les sites non exploités sélectionnés dans cette étude, les visites de terrain et informations complémentaires obtenues indiquent que les bassins sédimentaires non exploités ont un faible potentiel. Certains bassins, qui ont été sélectionnés en NAEP dans l'attente de ces études complémentaires, se sont donc avérés peu productifs et pourraient être retirés de la liste des NAEP. Il s'agit des bassins de Pipriac (Bouessic, la Cohiais, Saint Séglin) et de Saint Aubin du Cormier (35). Le potentiel du bassin de Sainte Colombe (35) semble également faible mais des investigations complémentaires pourraient être menées pour le vérifier. Les bassins de La Roche Bernard – Saint Dolay (56) et de Guitté (22) pourraient s'avérer plus intéressants mais leur potentialité devra être vérifiée.

Des investigations complémentaires ont été proposées sur certains bassins non exploités (reconnaitances terrain et sondages pour évaluer l'épaisseur et la nature des formations géologiques) et exploités (meilleur suivi des niveaux piézométriques et des volumes prélevés, réalisation d'un essai de pompage longue durée, ...). Par ailleurs, afin de quantifier les échanges avec les cours d'eau et l'encaissant, des prélèvements et des calculs de mélange pourraient être envisagés notamment sur les faluns, qui présentent un faciès chimique bien distinct.

Informations générales							Quantité					Qualité				Etudes et autres connaissances			
Nom du bassin	Département	Exploité	Captages AEP	Superficie (ha)	Lithologie	Connaissance de la géométrie	Essai de pompage longue durée	Paramètres hydrodynamiques	Carte piézométrique	Suivi niveau piézométrique vs prélèvements	Connaissance alimentation	Teneur en nitrates	Teneur en pesticides	Autre (qualité)	Qualité globale	Bibliographie	Connaissance globale	Intérêt (pour bassins non exploités)	Propositions investigations complémentaires
Dingé (La Motte aux Anglais)	35	Oui	2	201	Sables pliocènes Faluns miocènes Calcaires	Mauvaise	1977 (40h à 75 m3/h)	Non	1994	Non	Probables apports extérieurs (rigole du Boulet, substratum)	Hausse (10 à 25 mg/L)	Faible	Fe, Mn, Ni Puits de l'Herbage : matière organique	Moyenne	Durand (1960) SIMECSOL (1994)	Moyenne	-	Essai de pompage (paramètres hydrodynamiques et extension du bassin d'alimentation de captage), traçage entre rigole du Boulet et captages
Guitté	22	Non	-	150	Sables pliocènes	Faible	-	-	-	-	Non	-	-	-	Inconnue	-	Faible	A vérifier	Sondage de reconnaissance pour préciser l'épaisseur et la teneur en sables au centre du bassin
Landujan / La-Chapelle-du-Lou	35	Oui	3	73	Faluns miocènes	Bonne	Saudrais : 1978 Forage de Tizon : 1991 (qualité médiocre) Tizon : essai simultané 2007 (qualité médiocre)	Oui	Non	Oui	Alimentation par cours d'eau	Stable sur forage Tizon (20 mg/L) et Saudrais (30 mg/L), hausse sur puits de Tizon (30 mg/L)	Présence atrazine et métabolites	Fe, Mn, SO4	Moyenne	BRGM 78-SGN-268-BPL (1978) Véolia (2008) Géoarmor FD-GR/6052 et GM-GR/6052C (2013) Quété Y. - Avis hydrogéologue agréé (2016)	Bonne sur la géométrie - Moyenne sur le fonctionnement et les stocks	-	-
La-Roche-Bernard / Saint-Dolay	56	Non	-	> 800	Sables pliocènes	Faible	-	-	-	-	-	-	-	-	Inconnue	-	Faible	A vérifier	Sondages ou profils électriques, sondages mécaniques
Médreac (La Bouexière)	35	Oui	1	36	Faluns miocènes	Moyenne (peu d'informations au sud)	2007 (41h à 135 m3/h)	Oui	Non	Oui	Apports extérieurs (cours d'eau)	Stable (25 mg/L)	En baisse	Mn	Bonne	BRGM 78-SGN-267-BPL (1978) Géoarmor FD-GR/6052 (2013) Véolia (2007) Quété Y. - Avis hydrogéologue agréé (2016)	Moyenne	-	1- Essai de pompage et suivi dans des piézomètres (à réaliser) pour améliorer connaissance coefficient emmagasinement 2- Analyse de l'effet des pompes journaliers
Pipriac (Bouëssic)	35	Non	-	38	Sables pliocènes	Bonne	-	-	-	-	Non	-	-	-	Inconnue	-	Moyenne	Faible	-
Pipriac (La Cohiais)	35	Non	-	69	Sables pliocènes Calcaires oligocènes Argiles éocènes	Moyenne	-	-	-	-	Alimentation par le Canut ?	-	-	-	Inconnue	-	Faible	Faible	-
Pipriac (Le Meneu)	35	Oui	1	32	Sables pliocènes	Bonne	1978 (103h à 22 m3/h)	Oui	1978	En partie	Alimentation par le Canut	En baisse (25 mg/L)	Absence sauf isoproturon de 2004 à 2006	Mn	Bonne	BRGM BPL-78/54 (1978) BRGM SGR/BRE 81-15 (1981) GHI R/13-14/118/PM (2014) Terrandis n°R0081b (2016) et n°R0116 (2018)	Moyenne (alimentation par le Canut à préciser)	-	Meilleur suivi des niveaux piézométriques et des volumes prélevés
Pipriac (Saint-Séglin)	35	Non	-	77	Sables pliocènes Calcaires et argiles oligocènes	Faible	-	-	-	-	-	-	-	-	Inconnue	Archambault et Lamblin (1971)	Faible	Faible	-
Radenac (Le Pertu Rouge)	56	Oui	1	> 300	Sables pliocènes	Bonne	Non	Non	Non	Non	Non	En baisse (10 mg/L)	Faible	-	Bonne	BRGM note 91-12 (1991) CGG - mission 3730 FRA 3732 (2013) LOGHYDRO - ACDDUC (2014) OSUR Condate (2013) Rapports d'étude Lafarge	Moyenne	-	Essai de pompage longue durée (détermination des paramètres hydrodynamiques et de l'alimentation)
Retiers / Le-Theil-de-Bretagne (La Cité)	35	Oui	3	264	Sables pliocènes	Bonne	1970 (peu fiable) 2016 (72h sur F1bis + F2bis)	Oui	1970 - 1971 - 1972 - 1973 2003	En partie	Non	Stable (12 à 30 mg/L)	Faible	Fe, Mn, Ni	Moyenne	BRGM 71-SGN-002-BPL (1971), 72-SGN-085-BPL (1972), 73-SGN-148-BPL (1973) CALLIGEE N16-35138 A-B-D (2017)	Bonne sur la géométrie - Moyenne sur le fonctionnement et les stocks	-	1- Meilleur suivi des niveaux piézométriques (forages exploités et piézomètres) et des volumes prélevés 2- Essais de pompage mono-puits
Saint-Aubin-du-Cormier	35	Non	-	212	Sables pliocènes	Faible	-	-	-	-	-	-	-	-	Inconnue	-	Faible	Faible	-
Sainte-Colombe	35	Non	-	73 + 22	Sables pliocènes	Moyenne	-	-	-	-	Non	-	-	-	Inconnue	Archambault et Lamblin (1971) Rapport BRGM BRE 91-14 -R3706 (1991)	Faible	Faible	Sondages de reconnaissance pour préciser l'épaisseur de sables sur le grand bassin

Illustration 42 : Synthèse des connaissances disponibles sur les 13 bassins étudiés dans le cadre du projet ICARE

7. Conclusions

Le projet ICARE avait pour objectif de réaliser une synthèse des connaissances sur les bassins tertiaires et quaternaires de la région Bretagne afin de fournir les éléments nécessaires à l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne pour définir dans le cadre du SDAGE les NAEP (Nappes à réserver pour l'Alimentation en Eau Potable) et les ZSF (Zones de Sauvegarde pour le Futur) dans le cadre de la Directive Cadre Européenne sur l'eau.

Connaissances

A l'échelle régionale, aucun document de synthèse des bassins sédimentaires en lien avec l'exploitation en eau potable n'était disponible. La présente étude a permis de faire le recensement de 68 bassins dont 21 sont exploités pour l'eau potable. Les prélèvements dans ces bassins sédimentaires représentent actuellement entre 17 et 20% des prélèvements souterrains pour la production d'eau potable de la région, soit environ 4% du volume total de prélèvements d'eau potable de la région, toutes origines confondues.

En plus de ce recensement, cette étude a permis de faire un état des lieux de la situation des connaissances sur ces bassins qu'ils soient exploités ou non. Cet état des lieux amène au constat d'une faible évolution des connaissances depuis les travaux des années 70-80 dans le cadre des prospections en eau potable menées en grande partie par le BRGM ou des bureaux d'études tels que BURGEAP (1971).

Il apparaît que pour une majorité des bassins les connaissances sur 1) les ressources disponibles et 2) le fonctionnement des bassins est limité. Le suivi de la ressource exploitée semble très hétérogène entre les différents gestionnaires et les données sont difficilement accessibles (volumes prélevés, niveaux piézométriques). En période d'augmentation de la pression sur les ressources, notamment en période de sécheresse, gérée en partie par d'importantes interconnexions entre les réseaux d'eau potable et une gestion départementale voire régionale, **cette connaissance sur les réserves disponibles et leur état semble de haute importance.**

Un bilan régional des prélèvements d'eau dans le Tertiaire a été réalisé (quantité et qualité), cependant leur dynamique et temporalité, notamment en périodes de sécheresse, reste peu documentée. Les analyses de tendances sur les évolutions des prélèvements et des niveaux dans ces nappes indiquent des ressources de plus en plus sollicitées où les niveaux apparaissent comme étant de plus en plus bas dans les périodes extrêmes. Ces analyses montrent la vulnérabilité de la ressource aux sécheresses. A l'exception des plus gros aquifères, les aquifères tertiaires sont peu en mesure de maintenir une ressource importante en cas de sécheresses importantes.

L'hétérogénéité des suivis (niveaux, volumes) et des formats, rend difficile une analyse et un suivi systématique de la ressource en dehors de l'échelle de l'exploitation (ex : Syndicats départementaux) et donc une gestion intégrative de cette ressource en eau. Des suivis harmonisés et plus précis de la ressource en eau souterraine permettraient de surveiller l'exploitation et d'anticiper d'éventuels problèmes (perte de productivité de certains ouvrages, surexploitation, ...).

En dehors des ressources tertiaires déjà exploitées, de nombreux autres bassins sédimentaires existent à l'échelle régionale. Pour tous ces bassins, majoritairement de taille réduite, les

informations disponibles sont très limitées et se réduisent dans une majorité des cas à une information géologique. Cette information géométrique est la plupart du temps limitée à une connaissance de surface et la connaissance de la profondeur des bassins ou la nature de leur remplissage est peu fréquente, une majorité des sondages ou points BSS disponibles étant située autour de ces bassins. Certains des bassins identifiés sur les cartes géologiques comme des lithologies à potentiel aquifère ne semblent être que des placages de faible importance et à faible potentiel hydrogéologique (ex : Forêt de la Bretesche à proximité de La-Roche-Bernard).

Une majorité des données disponibles et accessibles est contenue dans de plusieurs bases de données et les travaux réalisés dans le cadre de ce projet ont notamment permis de fournir les éléments pour une actualisation de certaines telles que la BDLISA (Base de Donnée des Limites des Systèmes Aquifères) et la mise à jour de certains points BSS.

Fonctionnement

En lien avec le manque de connaissances, la synthèse d'informations réalisée dans le cadre de ce projet montre que **le fonctionnement hydrogéologique des bassins est peu connu**. Les bilans hydrogéologiques calculés sur l'ensemble des bassins (Illustration 22) indiquent que les taux d'exploitation sont bien souvent supérieurs aux taux de remplissages théoriques sans que ceci n'induisse obligatoirement de surexploitation de la ressource. Ceci indique que pour une majorité de ces bassins des apports extérieurs importants existent. Ces apports peuvent être des cours d'eau (ex : le Meneu à Pipriac, Landujan, Gahard...) ou des apports par l'encaissant (ex : Saint-Aubin d'Aubigné...). Si ces apports extérieurs sont dans certains cas identifiés, ils ne semblent que très rarement quantifiés, ce qui pose question sur la sécurisation de la ressources d'un point de vue qualité (ex : cours d'eau alimentant rapidement les forages mais non compris dans les périmètres de protection) ou d'un point de vue quantité, la compétition entre différents usages pouvant ne pas être connue hors du bassin. L'exemple d'utilisation conjointe (AEP et industrielle) de la ressource sur le site de la Cité au Theil-de-Bretagne peut notamment être mentionné.

Ces observations induisent que, pour une majorité des bassins, notamment ceux de petite taille, le fonctionnement hydrogéologique de la ressource est de type drain\tampon. Dans ce contexte le bassin sert de zone exploitable au travers une zone localement perméable permettant l'exploitation de forages à forts débits, et, grâce à la porosité élevée (en comparaison des aquifères de socle encaissant), une réserve tampon permettant une accessibilité et un stock provenant en partie de l'extérieur du bassin. Ce fonctionnement semble particulièrement marqué sur le site de Gahard.

Cependant, les observations sur certains sites montrent que ce stock doit être dans une majorité des cas relativement faible et que ces ressources offrent une résistance limitée en période de sécheresse. L'évolution des conditions climatiques et notamment l'enchaînement d'années sèches tel que observées en 2011, 2017 et 2019 pourrait être particulièrement critique. Parmi les sites observés, peu présentent des cycles pluriannuels marqués au niveau de l'exploitation. Le Forage de La Saudrais montrait notamment sur la période 2013 - 2018 des cycles pluriannuels sur lequel se superposaient des cycles annuels. Ceux-ci semblent disparaître dans les années 2017 et 2018 pour laisser place à une baisse importante des niveaux.

Les analyses réalisées sur les tendances longues (voir fiches en annexes – volume séparé) sur le site de Bouexière/ Landujan avec les piézomètres environnants dans le socle montrent des variations d'amplitudes similaires mettant en avant une ressource limitée. Ces mêmes analyses indiquent aussi que pour les ressources souterraines, les niveaux minima semblent de plus en plus bas, que ce soit sur les forages d'exploitation mais aussi sur les piézomètres indiquant une augmentation de la vulnérabilité de la ressource en eau.

Sélection de bassin à classer en NAEP

Dans l'objectif de délimitation de NAEP (nappes à réserver pour l'alimentation en eau potable) et de Zones de Sauvegarde pour le Futur pour l'alimentation en eau potable (ZSF pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau), la sélection de plusieurs bassins tertiaires est particulièrement intéressante, en complément des travaux réalisés sur les aquifères de socle dans le cadre du projet ANAFORE.

24 bassins tertiaires ont été identifiés comme intéressants à proposer en NAEP et classés en priorité 1. En complément, 10 bassins non exploités mais sur lesquels peu de connaissances sont disponibles ont été classés en priorité 2 afin de recueillir des informations complémentaires.

Potentielles nouvelles ressources

Les recherches effectuées par analyse des bases de données et des cartes géologiques ont permis d'identifier des bassins d'intérêt avec des surfaces importantes. Sur ces bassins ou polygones identifiés, les informations disponibles sont dans la majorité des cas très limitées (peu de forages réalisés ou répertoriés). De plus, en fonction des sources, des informations contradictoires étaient disponibles. Ces recherches ont été complétées par des observations de terrain et des prélèvements par tarière sur une sélection de sites.

Ces recherches ont permis de trouver des sables probablement Pliocènes mais avec des potentiels limités. Le gisement semblant avoir le meilleur potentiel est celui de La Roche Bernard. Des investigations complémentaires seraient nécessaires sur ce site. En dehors de ces quelques sites (La Roche Bernard, Sainte-Colombe et Guitté), très peu de nouveaux bassins semblent disponibles et exploitables. A l'échelle régionale, la majorité des bassins sédimentaires est actuellement exploitée ou bien les bassins ont été exploités pour l'eau potable et ont été abandonnés pour des raisons de qualité. Une partie des bassins potentiels a aussi été exploitée pour les granulats (ex : la Trinité-Surzur...).

Il semble donc que peu de nouveaux bassins soient disponibles pour l'exploitation de nouvelles ressources en eau en Bretagne.

Cependant, les observations sur le fonctionnement des bassins exploités et leur rôle de drain/tampon offre des possibilités a priori non exploitées. Les recherches d'eau souterraine, qui ont été concentrées dans les années 70-80, se sont focalisées sur les bassins de tailles importantes. Ces recherches ont été réalisées dans une « vision des aquifères de socle imperméables ».

L'évolution des connaissances sur les aquifères de socle, leurs capacités et leur continuité ainsi que l'évolution des connaissances sur le rôle de la fracturation seraient à étudier. Comme l'ont montré les positionnements, les bassins suivent souvent des orientations N150 liées aux événements tectoniques ayant conduit à la mise en place de grabens. Ces directions ont été identifiées dans le projet ANAFORE comme pouvant conduire l'eau et agir comme des drains. Ce type de systèmes pourrait être étudié comme de nouvelles ressources. Il s'agit de sites où l'utilisation d'une ressource souterraine sédimentaire de taille modérée peut être envisagée, non pas en considérant uniquement le bassin en tant que tel mais comme une zone d'exploitation d'une ressource provenant de l'encaissant ou d'une ressource superficielle (ex : Gahard).

Qualité

Les données de qualité des eaux ont été compilées et analysées sur l'ensemble des forages d'eau potable exploités dans les bassins tertiaires. Les faciès géochimiques sont logiquement

liés à la géologie du remplissage, cependant si on note une certaine homogénéité entre les sites dont les eaux sont issues de faluns, la variabilité est importante concernant les sables Pliocènes. Ceci indique des variations de contexte mais aussi probablement des effets locaux liés à des mélanges avec les encaissants. Certains sites présentent aussi des variations temporelles dans leurs faciès pouvant être liés à des évolutions de mélanges entre des eaux de différentes origines (formations sédimentaires du bassin, encaissant, apports de surface).

D'un point de vue de la qualité des eaux, des améliorations sont visibles sur des éléments tels que les nitrates sur une majorité des sites, cependant on note sur de nombreux sites la présence de produits phytosanitaires. Certains de ces produits sont issus de pratiques anciennes mais restent persistants dans les aquifères (ex : atrazine et ses produits de dégradation, interdite depuis 2003). D'autres tels que le métolachlore et ses dérivés proviennent d'utilisations plus récentes : ces molécules, encore peu recherchées lors des analyses, sont pourtant fréquemment quantifiées et mériteraient un suivi plus fin.

Les périmètres de protection de captages (PPC) ne couvrent pas toujours l'ensemble des bassins et ne protègent pas entièrement la ressource. L'objectif d'un périmètre de protection n'est pas de protéger complètement l'ensemble de la ressource mais de la protéger d'une pollution ponctuelle pouvant rapidement atteindre le forage. Or dans certains cas les rivières traversant les bassins sont connues pour alimenter les forages de manière relativement rapides (ex le Canut sur le site de Pipriac - le Meneu). Les bassins versants de ces rivières ne sont pas inclus dans les PPC. Le manque de connaissances dans certains bassins (apports par rivière ou encaissant ; temps de transit) limite les possibilités de protection de la ressource, notamment dans un contexte de délimitation de ZSF.

En conclusion, le projet ICARE a permis de faire évoluer la connaissance et la compréhension des bassins tertiaires : même s'ils peuvent apparaître comme des objets géologiques bien délimités, au fonctionnement *a priori* plus simple que les aquifères de socle environnants, leur fonctionnement est rarement connu précisément et leurs relations avec le socle et les cours d'eau sont peu quantifiées. Ce projet a également mis en évidence des perspectives intéressantes d'exploitation de bassins de taille modérée.

8. Bibliographie

Armandine Les Landes, A., Aquilina, L., Davy, P., Vergnaud-Ayraud, V., Le Carlier, C., 2015. Timescales of regional circulation of saline fluids in continental crystalline rock aquifers (Armorican Massif, western France). *Hydrology and Earth System Sciences* 19, 1413–1426.

Ballevre, M., Bosse, V., Dabard, M.-P., Ducassou, C., Fourcade, S., Paquette, J.-L., Peucat, J.-J., Pitra, P., 2013. Histoire Géologique du massif Armoricaïn: Actualité de la recherche 93.

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

Baudouin, Vivien ; Chrétien, Pierre ; Mougïn, Bruno ; ROUXEL.E. ; XU.D. ; Schomburgk, Susanne (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA. Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques en Bretagne et en Pays-de-la-Loire dans les départements de Vendée, Loire-Atlantique et Mayenne. Rapport final Mise à jour BDLISA Version 0. BRGM/RP-62227-FR, 77 p., 3 ann.

Bauer, H., Bessin, P., Saint-Marc, P., Châteauneuf, J.-J., Bourdillon, C., Wyns, R., Guillocheau, F., 2016. The Cenozoic history of the Armorican Massif: New insights from the deep CDB1 borehole (Rennes Basin, France). *Comptes Rendus Geoscience* 348, 387–397. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2016.02.002>

Bauer, H., Mougïn, B., Dezayes, C., 2011. CINERGY : rapport géologique de fin de sondage - Rapport Intermédiaire (No. BRGM/RP-59528-FR). BRGM.

Bessin, P. (2015). Évolution géomorphologique du Massif armoricaïn depuis 200 MA : approche Terre-Mer. Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes 1 (2014). Mémoires de Géosciences Rennes (2015), 151, 376 p.

Bonnet, S, Guillocheau, F., Brun, J.P., Van Den Driessche, J., (2000). Large-scale relief development related to quaternary tectonic uplift of a Proteozoic-Paleozoic basement; The Armorican Massif, NW France. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105 (B8), 19273-19288.

Brault, N., Bourquin, S., Guillocheau, F., Dabard, M.-P., Bonnet, S., Courville, P., Estéoule-Choux, J., Stepanoff, F., 2004. Mio–Pliocene to Pleistocene paleotopographic evolution of Brittany (France) from a sequence stratigraphic analysis: relative influence of tectonics and climate. *Sedimentary Geology* 163, 175–210. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(03\)00193-3](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(03)00193-3)

Chéry, L. 2006. Guide technique Qualité naturelle des eaux souterraines – Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français. BRGM Editions

Devau N., Lions J., Schomburgk S., Bertin C., Blanc, P., Mathurin F., Thinon-Larminach M., Lucassou F., Le Guern C., Tourlière B., Doney C., Salquebre D., Chretien P., Boisson A., Sedan O., Gourcy L. (2017) – Etude par approche globale des fonds hydrogéochimiques des eaux souterraines sur le bassin Loire-Bretagne. BRGM/RP-67573-FR, 192 p., 82 ill., 4 ann.

Durand S., (1960), Le Tertiaire de Bretagne : Etude stratigraphique, sédimentologique et tectonique, Thèse d'état, Mémoire de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne, 389 p.

Estéoule-Choux J., (1967), Contribution à l'étude des Argiles du Massif Armoricaïn. Argiles des altérations et argiles des bassins sédimentaires tertiaires, Thèse de doctorat, Université de Rennes, série C, n° d'ordre 63, n° de série 26, 319 p.

Estéoule-Choux, J., Ollivier-Pierre, M.F., (1973) Présence de dépôts lacustres d'âge Eocènes en Bretagne centrale, à la Trinité-Porhoët (Morbihan). Comptes rendus de l'académie des sciences, Série D, 277(7),663-635.

Géoarmor, (2013) Etude hydrologique. Propositions pour l'amélioration des conditions d'exploitation des captages. Captages de la Bouëxière, Tizon et la Saudrais. FD-GE/6052d Juin 2013. 17p + Annexes

Guillocheau F., Bonnet S., Bourquin S., Dabard M.-P., Outin J.-M. et Thomas E., (1998), Mise en évidence d'un réseau de paléovallées ennoyées (paléorias) dans le Massif armoricain : une nouvelle interprétation des sables pliocènes armoricains, C.R. Acad. Sci., 327, 237-243.

Guillocheau, F., Brault, N., Thomas, É., Barbarand, J., Bonnet, S., Bourquin, S., Estéoule-Choux, J., Guennoc, P., Menier, D., Neraudeau, D., Proust, J.-N., Wyns, R., 2003. Histoire géologique du massif armoricain depuis 140 MA (Crétacé-Actuel). Bulletin Inf. Géol.Bass. Paris 40, 17.

Morzadec-Kerfourn, M.,-T., (1974), Variation de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire : Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux, Thèse d'état, Rennes, Mémoire de la Société géologique et minéralogique de Bretagne 17, 208 p.

Ollivier-Pierre, (1980). Etude palynologique (spores et pollens) de gisements paléogènes du massif armoricain ; stratigraphie et paléogéographie. Thèse de doctorat d'état de l'université de Rennes 1 et Mémoires de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne, 25 pp239.

Schroëtter, J.M, (2011). Avis sur la demande de LAFARGE GRANULATS, de renouvellement et d'extension sur l'exploitation de la sablière de Lillion – Les Bougrières (Rennes, Saint-Jacques de la Lande, 35) – Rapport BRGM/RP-59492-FR, Janvier 2011, 32 pages, 11 Illustrations, 1 Annexe.

Schroëtter, J.M., et Seac'h, A. (2017). Volet 3 : Evaluation de la ressource en sables plio-quaternaires anciens dans un rayon de 50 km autour de Rennes (Ille-et-Vilaine, 35), Rapport RP-66914-FR

Schroëtter J.M., Rouainai D., Nombo S.-J. et Grumel J. (2017) – Evaluation des ressources minérales de Bretagne (action en direction du Schéma Régional des Carrières) - Rapport BRGM/RP-67165-FR., 216 fig., 5 tab., 9 ann., 316 pp., 1 cd.

Schroëtter J.M., Boisson A., Lucassou F., Bader A.G, Beccaletto L., Ouerghi Y., Tourlière B. (2020) - ANAFORE : Analyse multicritère des données de FORages les plus productifs de Bretagne. Cartographie des Zones Potentiellement Productrices en eau souterraine – Rapport BRGM/RP-70280-FR (à paraître)

Talbo, H., Mougïn, B., Thomas, E. (2001) - L'eau souterraine sur l'emprise du SAGE Vilaine. Rapport BRGM/RP-50821-FR

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

Wyns. R., Guillocheau. F., (1999), Géomorphologie grande longueur d'onde, altération, érosion et bassins épicontinentaux., in Résultats et perspectives, LEDRU.P. (Ed), GéoFrance 3D - résultats et perspectives - ENS - Lyon - France - 23-24/11/1999, Documents BRGM, Orléans : Editions BRGM, N° 293, pp.103-108.

Annexe 1

Liste des 68 bassins sédimentaires recensés

N°	Nom du bassin	Commune	Nom du site (eau potable)	Etat	Dépt	Surface (ha)	Nb Captages AEP	Production 2018 (m3/an)	Lithologie	Age Formation	Bibliographie
1	Le Quiou-Tréfumel (22) - Evran (35)	Tréfumel - Evran	Vile Bezy - Bleuquen	Exploité	22	886	4	928 661	faluns	Miocène moyen	Nombreuses études réalisées. Etude AAC à venir ; BRGM 81-SGN-070-BRE; GEOARMOR FD-MT-R3550 2005; GEOARMOR FD R3837; GEOARMOR FD-R5550 2004; ...
2	Penvénan	Penvenan		Non exploitable - Impermeable argiles	22	37			sables et argiles	Eocène moyen	
3	Saint-Jacut-du-Mené	Saint-Jacut-du-Mené		Non exploitable - Impermeable argiles	22	-			argiles	Oligocène inférieur	
4	Crozon, Guilers, Aber-Ildut	Crozon, Guilers, Aber-Ildut		Non exploitable - Impermeable argiles	29	-			argiles-sableuses	Oligocène inférieur	
5	Quimper Toulven	Quimper		Non exploitable - Impermeable argiles	29	798			argiles-sableuses	Eocène supérieur	
6	Argentré-du-Plessis (Les Feux Chalines)	Argentré-du-Plessis	Les Feux Chalines	Abandonné	35	26	1		sables	Pliocène	
7	Pont Péan	Pont Péan		Non exploitable - Impermeable argiles	35	274			argiles et sables	Eocène supérieur	
8	Chartres-de-Bretagne/Bruz/Saint-Jacques-de-La-Lande	Chartres-de-Bretagne Bruz Saint-Jacques-de-La-Lande	Fenicat - Marionnais - Pavais - Bougrière - Lillion	Exploité	35	2253	6	2 314 832	argiles et sables	Empilement (M, P, E, O)	BRGM 69-SGN-003-BPL ; BRGM 71-SGN-003-BPL; BRGM 76-SGN-443-BPL; BRGM 73-SGN-022-BPL; BRGM 73-SGN-419-BPL; BRGM 79-SGN-102-BRE; GEOARMOR 2011; Lithologic 2007-2008; CALLIGEE (N07-35301-A, B, C, D, F, G); BRGM RP-59492-FR; LOGHYDRO R19-24
9	Chasné-sur-Illet	Chasné-sur-Illet		Non exploitable - Impermeable argiles	35	-			argiles	Miocène supérieur	
10	Coësmes /Le Theil de Bretagne	Coësmes		Non exploitable - etude BRGM	35	-			faluns	Empilement (M, E)	BRGM RP-63719-FR - Coesmes
11	Dingé (La Motte aux Anglais)	Dingé	La Motte aux Anglais	Exploité	35	201	2	144 643	sables	Empilement (P, M)	Durand (1960) SIMECSOL (1994)
12	Feins (La Chaumière)	Feins	La Chaumière	Exploité	35	71	2	198 882	sables	Empilement (P, M)	
13	Gahard (La Tourmerie)	Gahard	La Tourmerie	Exploité (3/4) - Abandonné (1/4)	35	3	4	408 941	faluns	Miocène moyen	
14	Gosné	Gosné		Non exploitable - Taille	35	2			sables	Pliocène	
15	Grand-Fougeray	Grand-Fougeray		Non exploité	35	300			sables et argiles	Eocène inférieur	
16	Guignen	Guignen		Non exploité	35	-			sables	Pliocène	
17	Guipel	Guipel		Non exploitable - Taille	35	3.4			faluns	Miocène moyen	
18	Janzé Sainte-Colombe	Sainte-Colombe		Non exploité	35	-			sables	Pliocène	BURGEAP (1971) BRGM BRE 91-14 -R3706 (1991)
19	La Chapelle-Bouëxic	La Chapelle-Bouëxic		Non exploité	35	-			sables	Pliocène	
20	Landéan	Landéan		Non exploitable - Impermeable argiles	35	93			argiles	Eocène supérieur	
21	Landujan - La Chapelle-du-Lou	Landujan La-Chapelle-du-Lou	Tizon - Saudrais	Exploité	35	73	3	2 217 072	faluns	Miocène moyen	BRGM 78-SGN-268-BPL (1978) Véolia (2008) Géoarmor FD-GR/6052 et GM-GR/6052C (2013) Quété Y. - Avis hydrogéologue agréé (2016)
22	Langon	Langon	Illette - Etier - Briquerrie	Exploité	35	377	3	1 193 383	sables	Empilement (P, O)	BRGM 70-SGN-005-BPL; BRGM 76-SGN-067-BPL; GEORAMOR GL/1651-1992; GEOARMOR GL/1677; GEOARMOR GM/GR/R963-1999; GEOARMOR 1993 Etude ANTEA 2002
23	Lassy (La Chapinais)	Lassy	La Chapinais	Exploité	35	-	1	27 756	sables	Pliocène	
24	Les Brulais	Les Brulais		Non exploité	35	-			argiles-calcaires	Oligocène inférieur	
25	Le-Theil-de-Bretagne (La Groussinière)	Le-Theil-de-Bretagne	La Groussinière	Exploité	35	71	2	318 819	sables	Pliocène	BRGM 73-SGN-148-BPL; BRGM 72-SGN-085-BPL; BRGM 72-SGN-175-BPL; 74-SGN-383-BPL; BRGM 76-SGN-443 BPL; GEOARMOR
26	Lohéac	Lohéac		Abandonné	35	26	1		sables	Empilement (M, P)	
27	Loutehel	Loutehel		Non exploité	35	-			sables	Empilement (P, O)	
28	Médreac (La Bouexière)	Médreac	La Bouexière	Exploité	35	36	1	comptabilisé avec Landujan	faluns	Miocène moyen	BRGM 78-SGN-267-BPL (1978) Géoarmor FD-GR/6052 (2013) Véolia (2007) Quété Y. - Avis hydrogéologue agréé (2016)
29	Memel	Memel		Exploité	35	64	1	112 702	sables	Pliocène	BRGM 78-SGN-269-BPL; Etude hydrogéologique LITHOLOGIC 2018 ; AVIS HA Mougins 2019
30	Pipriac (Bouëssic)	Pipriac	Bouëssic	Non exploité	35	38			sables	Empilement (P, E)	
31	Pipriac (La Cohiais)	Pipriac	La Cohiais	Non exploité	35	69			argiles-calcaires	Empilement (P, O, E)	
32	Pipriac (Le Meneu)	Pipriac	Le Meneu	Exploité	35	32	1	196 129	sables	Pliocène	BRGM BPL-78/54 (1978) BRGM SGR/BRE 81-15 (1981) GHI R/13-14/118/PM (2014) Terrandis n°R0081b (2016) et n°R0116 (2018)
33	Rannée (La Gaumonerie)	Rannée	La Gaumonerie	Abandonné	35	302	2		sables	Pliocène	BRGM 74-SGN-078-BPL; BRGM SGR 78-20; BRGM 76-SGN-443 BPL
34	Retiers Le-Theil-de-Bretagne (La Cité)	Retier Le-Theil-de-Bretagne	La Cité	Exploité	35	264	3	798 847	sables	Pliocène	BRGM 71-SGN-002-BPL (1971), 72-SGN-085-BPL (1972), 73-SGN-148-BPL (1973) CALLIGEE N16-35138 A-B-D (2017)
35	Saint-Aubin-d'Aubigné (Beauregard/La Douettée)	Saint-Aubin-d'Aubigné	La Douettée - Beauregard	Exploité	35	20	2	226 459	faluns	Miocène moyen	BRGM 78-SGN-266-BPL;
36	Saint-Aubin-du-Cormier	Saint-Aubin-du-Cormier		Non exploité	35	212			sables	Pliocène	
37	Saint-Georges-du-Chesné	Saint-Georges-du-Chesné	Les Aunays	Exploité	35	45	1	82 177	sables	Pliocène	BRGM 74-SGN-220-BPL;
38	Saint-Grégoire (La Noë)	Saint-Grégoire	La Noë	Exploité	35	62	2	324 853	faluns	Miocène moyen	BRGM 73-SGN-213-BPL; BRGM 76-SGN-443 BPL
39	Saint-Jean-sur-Couesnon (Le Rocher)	Saint-Jean-sur-Couesnon	Le Rocher	Exploité	35	7	1	91 798	sables	Pliocène	Etude hydrogéologique GEOARMOR de 2004
40	Saint-Just	Saint-Just		Non exploitable - Taille	35	8			sables	Pliocène	
41	Saint-Malo-de-Phily	Saint-Malo-de-Phily		Non exploité	35	81			sables	Pliocène	
42	Saint-Médard-sur-Ille	Saint-Médard-sur-Ille		Non exploitable - Taille	35	-			sables	Pliocène	
43	Saint-Sauveur-des-Landes (La Boyère)	Saint-Sauveur-des-Landes	La Boyère	Non exploitable - Taille	35	10			faluns	Miocène moyen	
44	Pipriac (Saint-Séglin)	Saint-Séglin		Non exploité	35	77			argiles-calcaires	Empilement (P, O)	BURGEAP (1971)
45	Saint-Senoux (Bourhan)	Saint-Senoux	Bourhan	Exploité	35	-	3	79 192	sables	Pliocène	BRGM SGR/BRE 82-17
46	Teillay	Teillay		Non exploité	35	39			sables et argiles	Eocène inférieur	BRGM - RP-63719-FR

N°	Nom du bassin	Commune	Nom du site (eau potable)	Etat	Dépt	Surface (ha)	Nb Captages AEP	Production 2018 (m3/an)	Lithologie	Age Formation	Bibliographie
47	Mohon (Casteldeuc) - La Trinité Porhoët	Mohon	Casteldeuc	Abandonné	56	122	3		sables	Pliocène	
48	Port-Louis - Riantec	Riantec	Kerdurand / Pont-Ar-Roch	Exploité	56	94	3	143 985	sables-argileux	Eocène inférieur	BRGM RP-61005-FR; AVIS HA F.Faissolle 2011
49	Radenac (Le Pertu Rouge)	Radenac	Le Pertu Rouge	Exploité	56	83	1	125 824	sables	Pliocène	BRGM note 91-12 (1991) CGG - mission 3730 FRA 3732 (2013) LOGHYDRO - ACDDUC (2014) OSUR Condate (2013) Rapports d'étude Lafarge
50	Plouhinec (Pont Mouton)	Plouhinec	Pont Mouton	Exploité (Arrêté en 2014 2015 pour diuron)	56	90	1	159 619		Pliocène	
51	Guenroc	Guenroc		Abandonné	22	-	1			Pliocène	
52	Guipry-Messac	Guipry-Messac		Abandonné	35	51	1			Pliocène	
53	Moustoir-Ac - Bignan	Moustoir-Ac - Bignan		Non exploité	56	184			sables	Pliocène	
54	Saint-Thuriau	Saint-Thuriau		Non exploité	56	83			sables	Pliocène	
55	La-Roche-Bernard - Saint-Dolay	Saint-Dolay - Théhillac - Marzan - Nivillac		Non exploité	56	1000				Pliocène	
56	La-Trinité-Surzur	La-Trinité-Surzur		Non exploité	56	154				Pliocène	
57	Penestin	Penestin		Non exploité	56	915				Pliocène	
58	La Gacilly	La Gacilly		Non exploité	56	30				Pliocène	
59	Josselin	Josselin		Non exploité	56	-				Pliocène	
60	Neulliac	Neulliac		Abandonné	56	536				Pliocène	
61	Caulnes - Guitté	Guitté		Non exploité	22	154				Pliocène	
62	Plouhinec	Plouhinec		Non exploité- risque intrusions salines	56	449				Pliocène	ANTEA A82262B- 2017
63	Plumergat	Plumergat		Non exploité	56	99				Pliocène	
64	Quimper - Gouesnach	Quimper - Gouesnach		Non exploité	29	250				Pliocène	
65	Pacé l'Hermitage	Pacé l'Hermitage		Non exploitable - Epaisseur/urbanisation	35	271				Pliocène	
66	Merdrignac	Merdrignac		Non exploité	22	81				Pliocène	
67	Saint-Grégoire nord	Saint Gregoire		Non exploité	35	49				Pliocène	
68	Thourie	Thourie		Non exploité	35	20				Pliocène	

Annexe 2

Analyse de tendances - méthodologie

Méthodologie

L'analyse de la dynamique, climat, ressources et prélèvements a été effectuée au travers de l'analyse d'anomalie normalisées. La procédure utilisée est proche de celle présentée par Weider et Boutt 2010 et Boutt, 2016.

Les données observées sont utilisées pour calculer les anomalies de température, précipitations débits de cours d'eau et de niveau d'eau souterraine. Ces anomalies sont calculées suivant l'équation suivante :

$$A_i = \frac{m_i - \bar{m}}{\sigma_m} \quad \text{Equation 1}$$

Avec m_i la valeur mensuelle, \bar{m} la moyenne pour un mois sur l'ensemble de la série et σ_m l'écart type pour le mois sur l'ensemble de la série temporelle. Une moyenne mobile sur 12 mois est ensuite appliquée sur les anomalies mensuelles. Cette technique atténue les fluctuations court terme et accentue les fluctuations long terme.

Cette méthodologie permet de comparer entre elle les données de type différents afin de comparer leurs tendances relatives.

Les analyses sont réalisées à partir de données journalières si les données sont accessibles (niveaux piézométrique, données climatiques). Les données de prélèvements et niveaux des forages étant disponibles au pas de temps mensuel, le pas de temps mensuel a été utilisé pour les calculs.

Un exemple de calcul d'anomalie est présenté Illustration 1. Les moyennes des différentes données sont ensuite comparées qualitativement pour les sites.

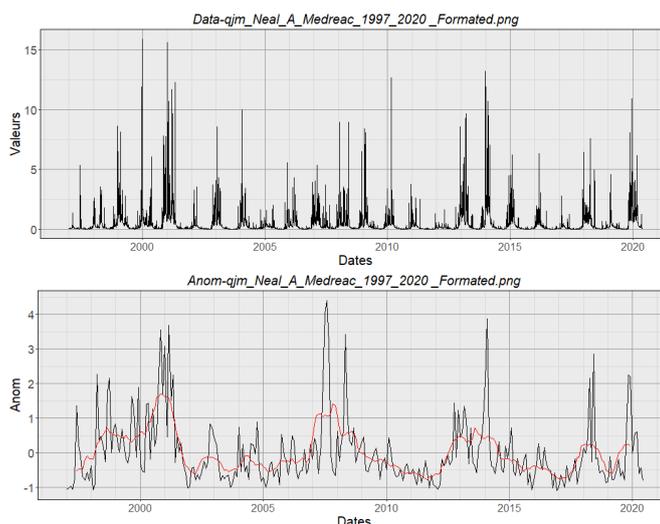


Illustration 43 : Décomposition des chroniques de débit du Neal à Médréac avec en haut les données brutes et en bas les anomalies mensuelles (en noir) et anomalies lissées sur 12 mois (en rouge).

Références

Weider, K., Boutt, D.F., 2018. Heterogeneous water table response to climate revealed by 60 years of ground water data. *Geophysical Research Letters* 37.

Boutt, D.F., 2017. Assessing hydrogeologic controls on dynamic groundwater storage using long-term instrumental records of water table levels. *Hydrological Processes* 31, 1479–1497.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Bretagne

2 rue de Jouanet
35700 – Rennes – France

Tél. : 02 99 84 26 70