

Septembre 2024

B. Mougin, G. Aertgeerts
avec la collaboration de
F. Lucassou



Géosciences pour une Terre durable



Introduction

Cet itinéraire a été créé dans le cadre du projet SIGES Bretagne Phase 4 (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines en Bretagne) et a été financé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, la Région Bretagne et le BRGM. Le SIGES Bretagne est un site Internet accessible à cette adresse : <http://sigesbre.brgm.fr/>.

L'itinéraire géologique et hydrogéologique du secteur de Chartres-de-Bretagne est situé dans le département de l'Ille-et-Vilaine en région Bretagne. Il suit un itinéraire pédagogique sur le terrain en 6 étapes permettant d'observer différentes lithologies (ou roches) dont les caractéristiques intrinsèques régissent la circulation et le stockage des eaux souterraines (avec : monument, carrière, affleurements géologiques, forages et piézomètres). Ces étapes sont accessibles en voiture puis à pied et à 80% pour des personnes à mobilité réduite.

Sommaire

1. Déroulement de l'itinéraire et liste des étapes	7
2. Contexte géologique	14
2.1. LE MASSIF ARMORICAIN ET LA BRETAGNE	14
2.2. LE BASSIN DE BRUZ-CHARTRES DE BRETAGNE	17
3. Descriptif des étapes	21
3.1. LE FORAGE DE RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE DU PROJET CINERGY	21
3.2. LES ROCHES DES MURS DU MONUMENT DES FOURS A CHAUX.....	24
3.3. LE SENTIER LORMANDIERE ET SON ANCIENNE CARRIERE	30
3.4. LE CAPTAGE D'EAU POTABLE DE LA PAVAIS	35
3.5. UN FORAGE D'EAU INDUSTRIELLE DU GROUPE STELLANTIS.....	38
3.6. LE PIEZOMETRE BRGM SITUE A LA DIRECTION INTER-REGIONALE OUEST DE METEO-FRANCE	41
4. Bibliographie	45

Liste des figures

Figure 1 - Localisation du secteur concerné par l'itinéraire géologique et hydrogéologique de Chartres-de-Bretagne (source : SIGES Bretagne)	7
Figure 2 - Situation géographique du bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne et carte géologique des formations d'âge Tertiaire du bassin (modifiée d'après Thomas, 1999)	9
Figure 3 - A : Carte géologique du bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne modifiée d'après Thomas (1999) ; B : Simplification de la géologie - BSS : Banque de données du Sous-Sol du BRGM	10
Figure 4 - Coupe géologique du bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne (tracée avant la réalisation du forage carotté CDB1 du projet CINERGY), modifiée d'après Thomas (1999) ; Localisation de la coupe géologique A-B mentionnée sur la Figure 3 (noter l'exagération verticale) ; Positionnement de 5 des 6 étapes de l'itinéraire géologique et hydrogéologique (les profondeurs des points d'eau respectent l'échelle verticale)	11
Figure 5 - Localisation des différents arrêts de l'itinéraire sur fond de carte topographique IGN au 1/25 000 (source : Géoportail)	12
Figure 6 - Localisation des différents arrêts de l'itinéraire sur les cartes géologiques au 1/50 000 du secteur (source : Géoportail)	13
Figure 7 - (a) schéma simplifié montrant les deux principaux blocs géologiques qui constituent le Massif armoricain. (b) schéma montrant les différents domaines géologiques définis par Chantraine et al. (2003) pour le Massif armoricain (adapté de Chantraine et al., (2003)). (c) Carte montrant les principales unités géologiques du Domaine varisque de Bretagne centrale (adapté de Chantraine et al., (2003)). Le carré rouge de la figure (c) localise le bassin de Bruz-Chartres-de-Bretagne.	16
Figure 8 - Schéma géologique du bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne (modifié d'après Bauer et al., 2016) et échelle chronostratigraphique du Cénozoïque extrait par capture d'écran le 25/10/2024 à partir du site ics-chart	17
Figure 9 - Log géologique du forage CDB1 réalisé par le BRGM en 2010 au droit du secteur le plus profond du Bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne. Voir texte ci-dessus pour explications	20
Figure 10 - Site du forage de reconnaissance géologique du projet CINERGY (source : BRGM)	21
Figure 11 - Tête du forage de reconnaissance géologique du projet CINERGY (source : BRGM)	22
Figure 12 - Exemple d'un mur en bord de route du monument des anciens fours à chaux du lieu-dit Lormandière (source : BRGM)	25
Figure 13 - Photographie des différentes roches composant un mur du monument des fours à chaux : faluns miocènes jaunâtres entourant une roche plus blanche composée de calcaires oligocènes (source : BRGM)	26
Figure 14 - Détail de débris coquilliers dans un calcaire oligocène (source : BRGM)	27
Figure 15 - Aperçu des débris coquilliers dans les faluns miocènes d'un mur des fours à chaux (source : BRGM)	28
Figure 16 - Détail de porosités différentes au sein des roches d'un mur du monument des fours à chaux (source : BRGM)	29
Figure 17 - Accès au sentier Lormandière à Chartres-de-Bretagne (source : BRGM)	30
Figure 18 - Ancienne carrière de Lormandière à Chartres-de-Bretagne (source : BRGM)	32

Figure 19 - Anciens fours à chaux visibles au sentier Lormandière (source : BRGM)	33
Figure 20 - Exemple de panneau explicatif de l'ancienne activité de la carrière ; panneau du sentier Lormandière (source : BRGM).....	33
Figure 21 - Piézomètre Pz1 au sentier Lormandière (source : BRGM)	34
Figure 22 - Captage d'eau potable de la Pavais à Chartres-de-Bretagne (source : BRGM).....	35
Figure 23 - Forage et piézomètre de la Pavais à Chartres-de-Bretagne situés entre les deux bâtiments (source : BRGM)	37
Figure 24 - Site d'un forage d'eau industrielle du Groupe Stellantis (source : BRGM).....	39
Figure 25 - Puits 7 du Groupe Stellantis (source : BRGM)	40
Figure 26 - Piézomètre PzH du Groupe Stellantis (source : BRGM)	40
Figure 27 - Site de la Direction inter-régionale ouest de Météo-France et poster expliquant le fonctionnement du piézomètre situé en arrière-plan (source : BRGM)	42
Figure 28 - Piézomètre BRGM situé sur le site de la Direction inter-régionale ouest de Météo-France (source : BRGM)	43
Figure 29 - Intérieur du piézomètre BRGM et matériels de suivi (source : BRGM).....	44

1. Déroulement de l'itinéraire et liste des étapes

L'itinéraire du secteur de Chartres-de-Bretagne est situé dans le département de l'Ille-et-Vilaine en région Bretagne (**Figure 1**). Il suit un itinéraire pédagogique sur le terrain en 6 étapes permettant d'observer différentes lithologies (ou roches) dont les caractéristiques intrinsèques régissent la circulation et le stockage des eaux souterraines (avec : monument, carrière, affleurements géologiques, forages et piézomètres). Ces étapes sont accessibles en voiture puis à pied et à 80% pour des personnes à mobilité réduite.

Le fil conducteur de cet itinéraire géologique et hydrogéologique est de comprendre par où passe l'eau, depuis le sous-sol, pour arriver à la rivière. Les objectifs de cet itinéraire sont de prendre conscience de l'existence d'eaux souterraines dans différentes couches géologiques en profondeur, de connaître les usages de ces eaux et leurs surveillances.

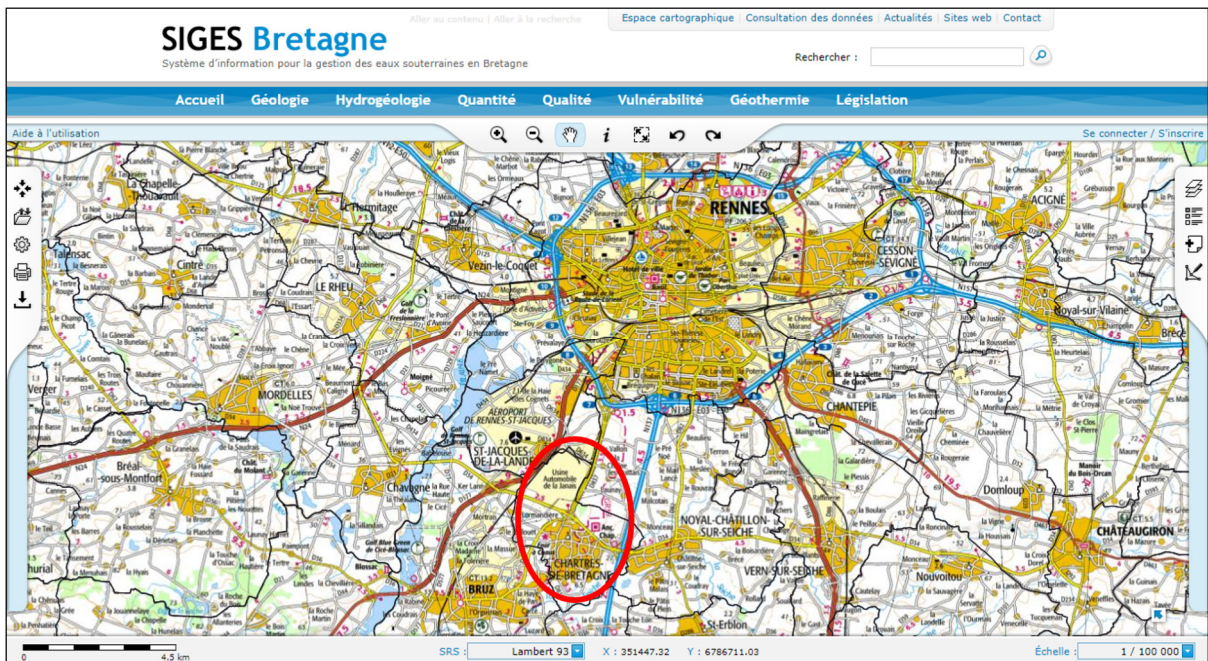


Figure 1 - Localisation du secteur concerné par l'itinéraire géologique et hydrogéologique de Chartres-de-Bretagne (source : SIGES Bretagne)

Dans cette excursion, au fur et à mesure des étapes, différents réservoirs souterrains qui accueillent l'eau de pluie seront décrits. Le secteur de Chartres-de-Bretagne constitue une réelle « bassine » dont le fond est quasi imperméable (et composé par des couches géologiques argileuses) et l'intérieur du bassin est constitué par d'autres formations sableuses ou calcaires qui, elles, ont de la place pour accueillir l'eau souterraine car elles sont poreuses, fracturées et altérées. La fracturation et l'altération (qui est la dégradation de la roche *in situ* par l'eau) sont deux moteurs à la création d'une certaine porosité.

Géologiquement, le secteur est nommé par les géologues « bassin sédimentaire d'âge Tertiaire du sud-ouest de Rennes » (cf. Chapitre 2 « Contexte géologique »), et c'est cette structure géologique particulière qui constitue la « bassine », c'est-à-dire le réservoir d'eaux souterraines (cf. secteurs en couleur sur la **Figure 2**).

Le bassin tertiaire, situé au sud-ouest de la ville de Rennes, couvre une partie de cette métropole. Il fait environ 18 km de long sur 2 à 3 km de large. La partie centrale, la plus profonde, du bassin concerne les communes de Bruz et de Chartres-de-Bretagne. Les roches constituant le proche sous-sol sont des sables graveleux (d'âge Pliocène), des faluns (d'âge Miocène) et des calcaires fracturés (d'âge Oligocène)¹ ; ces formations contiennent des eaux souterraines (Figure 3 et Figure 4) ; on parle alors d'aquifères qui sont notamment utilisés pour l'alimentation en eau potable depuis les années 1970. On trouve également à l'affleurement, souvent sous une couche de sables pliocènes plus ou moins épaisse, des argiles oligocènes ou éocènes et des altérites des schistes d'âge Briovérien (présents tout autour du bassin tertiaire). Au sud du bassin, vers les villes de Laillé et Orgères, on peut aussi visualiser des schistes pourpres (Schistes rouges de la Formation de Pont-Réan). Ces deux dernières formations constituent les roches de socle du secteur (schistes briovériens et pourpres). Près de la Vilaine et de la Seiche, on peut observer des terrasses alluviales.

La structure et le remplissage du bassin sont connus par plusieurs études géophysiques² (données gravimétriques, électriques et sismiques), par des données cartographiques et par les nombreux forages du secteur. Le forage carotté CDB1 (Figure 3, Figure 9 et étape n°1 de cet itinéraire géologique et hydrogéologique) réalisé dans le cadre du projet CINERGY³ est le premier à avoir atteint le socle du bassin en son endroit le plus profond (405 mètres) et le seul à avoir carotté le socle briovérien sur toute l'épaisseur de son profil d'altération (environ 120 m ; Bauer et al., 2011 ; Bauer et al., 2016).

L'eau souterraine qui est présente dans le bassin tertiaire trouve son origine dans l'eau de pluie, puis son écoulement dans le sous-sol se fait du nord vers le sud en direction de la rivière de la Seiche, qui constitue l'exutoire des différents aquifères. La Seiche, qui est un affluent de la Vilaine en rive gauche, marque la limite sud de la commune de Chartres-de-Bretagne.

L'itinéraire géologique et hydrogéologique permet de suivre cette série géologique (des formations les plus anciennes aux plus récentes : calcaires oligocènes, faluns miocènes, sables pliocènes) puis de montrer que ces roches contiennent des eaux souterraines utilisées localement pour divers usages (eau potable, eau industrielle) et enfin de comprendre la surveillance de ces ressources en eau.

La liste des étapes de l'itinéraire géologique et hydrogéologique est la suivante :

- 1) Le forage de reconnaissance géologique du projet CINERGY
- 2) Les roches des murs du monument des fours à chaux
- 3) Le sentier Lormandière et son ancienne carrière
- 4) Le captage d'eau potable de la Pavais
- 5) Un forage d'eau industrielle du Groupe Stellantis
- 6) Le piézomètre situé à la Direction inter-régionale ouest de Météo-France

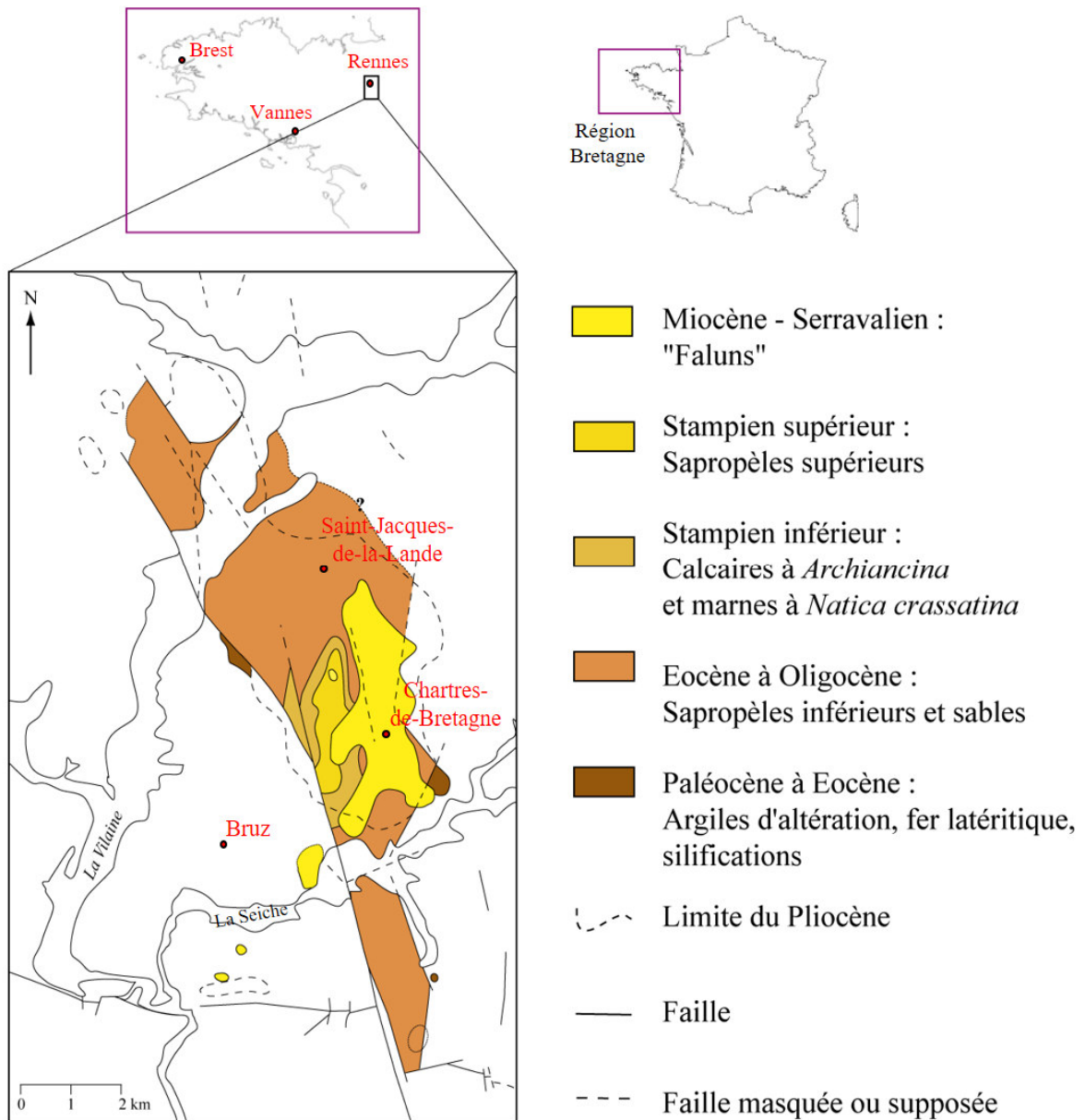
¹ https://sigesbre.brgm.fr/files/fiches/BDLISA/LISA_Bretagne_104AC08.pdf

² La géophysique est l'étude des caractéristiques physiques de la Terre utilisant des techniques de mesures indirectes (gravimétrie, géomagnétisme, sismologie, radar géologique, résistivité apparente...). C'est une discipline importante des sciences de la Terre.

³ <https://sigesbre.brgm.fr/CINERGY.html>

Ces étapes sont localisées : (1) sur les cartes des pages suivantes sur fond IGN au 1/25 000 (Figure 5) et sur fond de cartes géologiques au 1/50 000 (Figure 6), et (2) sur une coupe géologique du secteur (Figure 4).

Le Chapitre 3 « Descriptif des étapes » détaille chacune de ces étapes en précisant leurs accès, et en indiquant ce qu'on peut voir et ce qu'il faut en conclure.



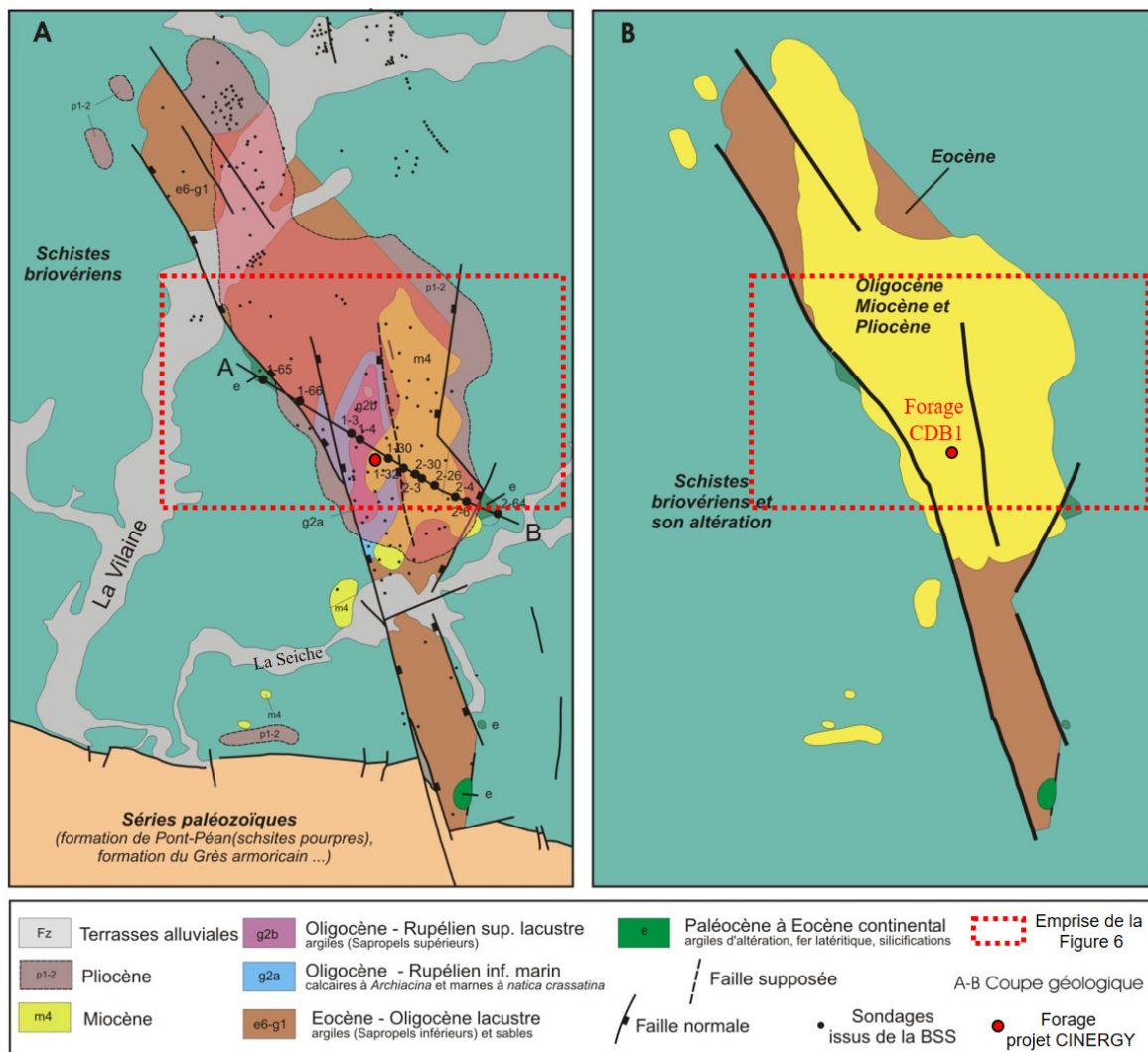


Figure 3 - A : Carte géologique du bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne modifiée d'après Thomas (1999) ; B : Simplification de la géologie - BSS : Banque de données du Sous-Sol du BRGM⁴

⁴ <https://infoterre.brgm.fr/page/definition-bss>

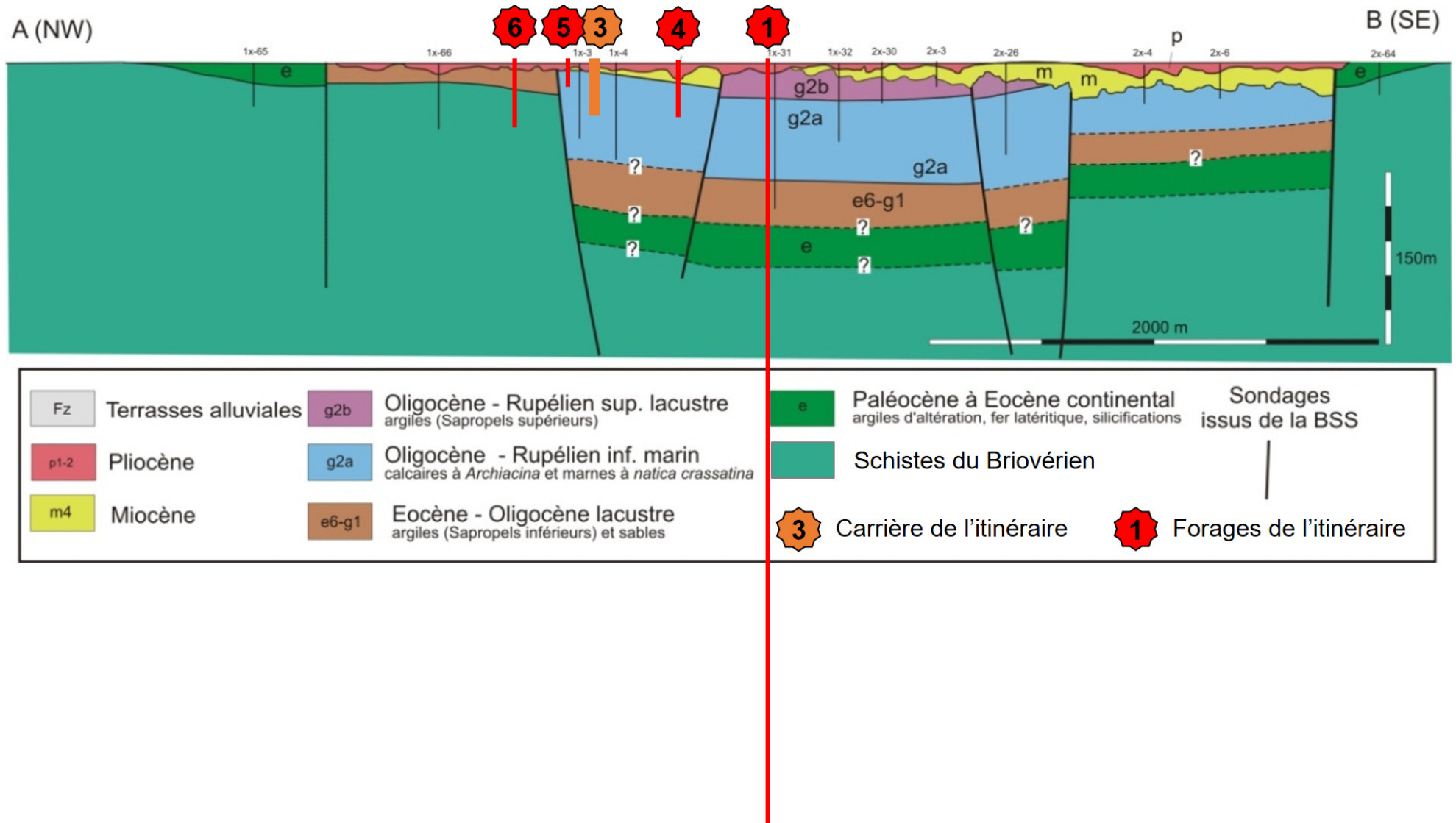


Figure 4 - Coupe géologique du bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne (tracée avant la réalisation du forage carotté CDB1 du projet CINERGY), modifiée d'après Thomas (1999) ; Localisation de la coupe géologique A-B mentionnée sur la Figure 3 (noter l'exagération verticale) ; Positionnement de 5 des 6 étapes de l'itinéraire géologique et hydrogéologique (les profondeurs des points d'eau respectent l'échelle verticale)

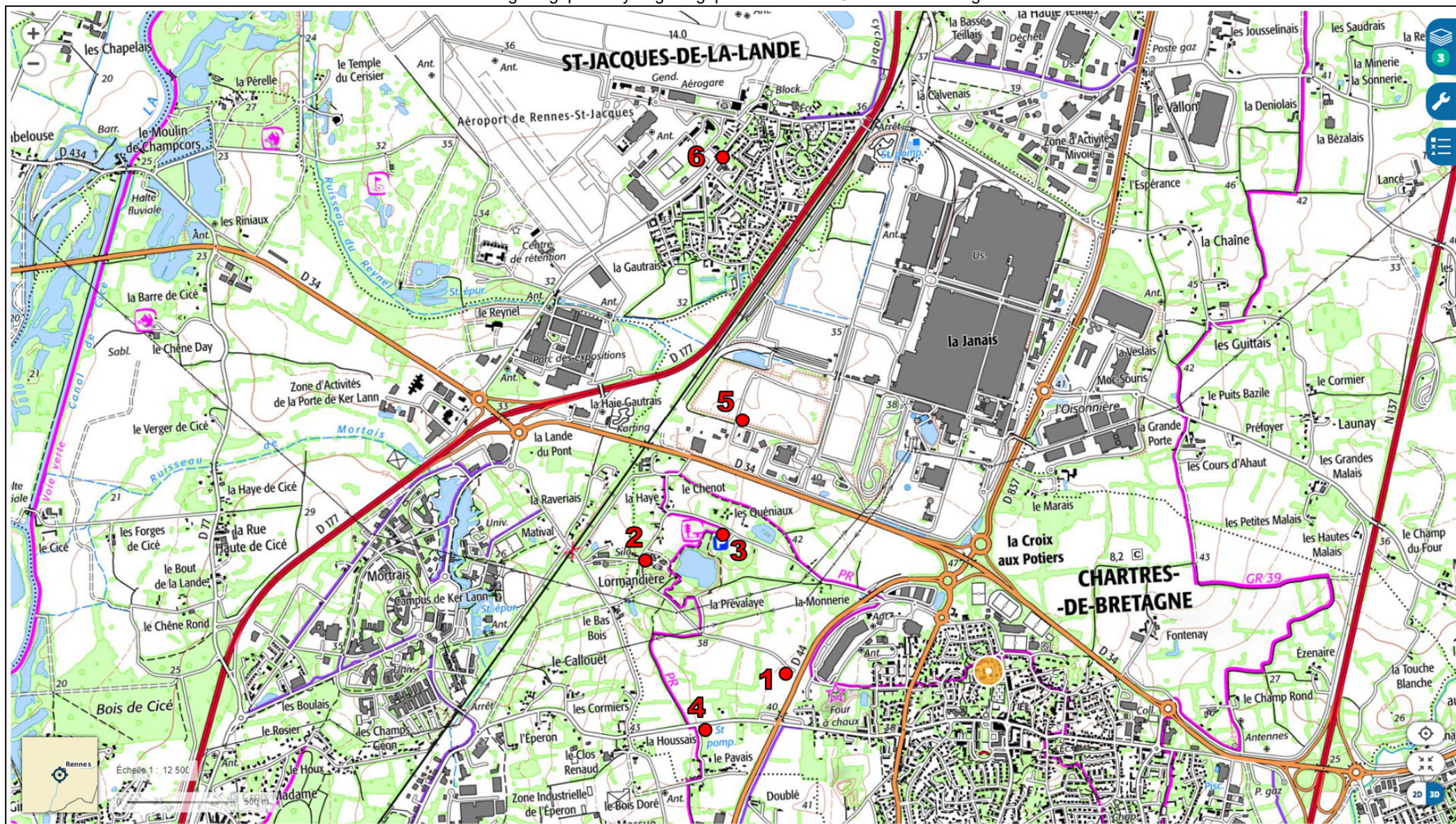


Figure 5 - Localisation des différents arrêts de l'itinéraire sur fond de carte topographique IGN au 1/25 000 (source : Géoportail)

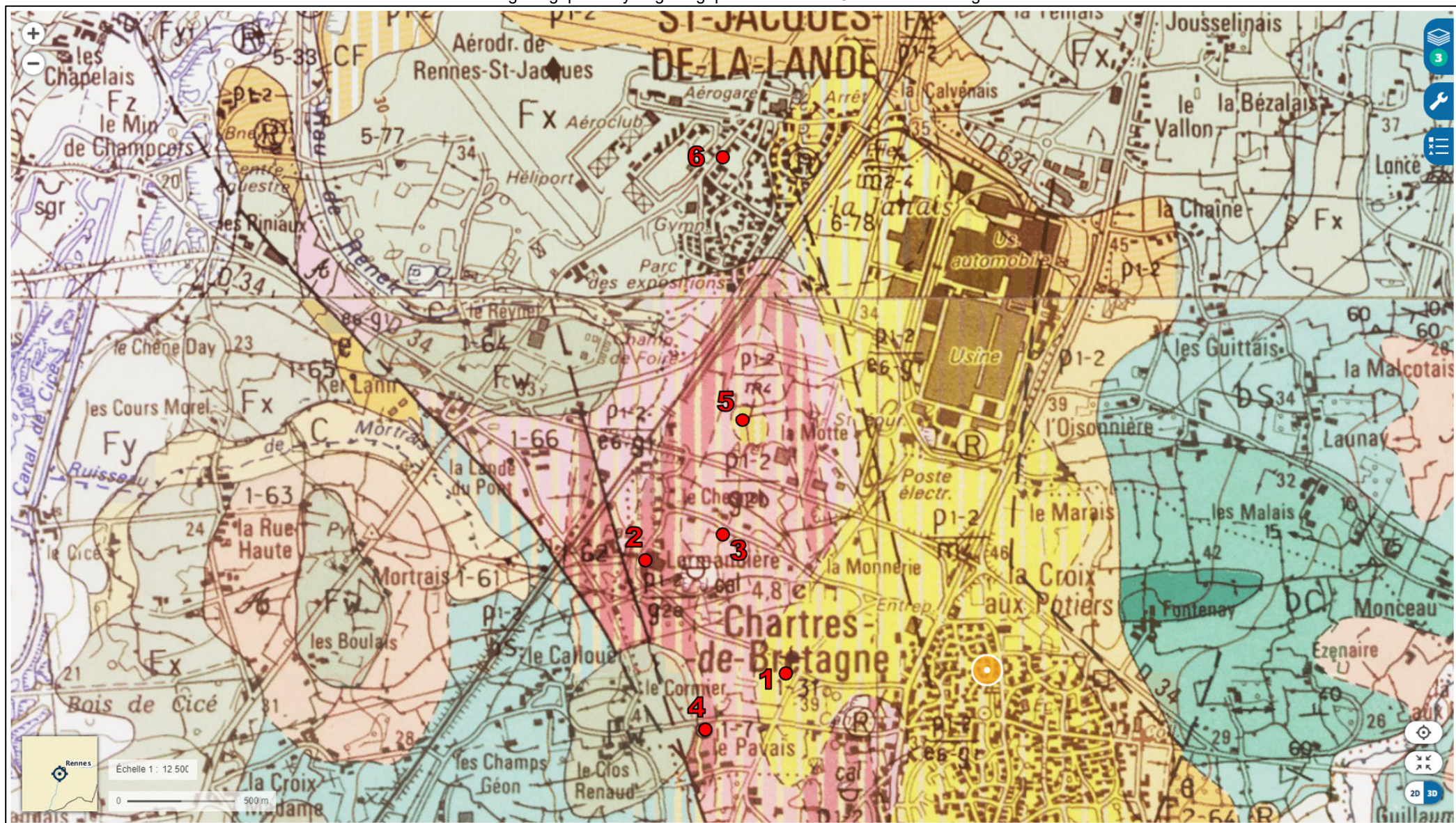


Figure 6 - Localisation des différents arrêts de l'itinéraire sur les cartes géologiques au 1/50 000 du secteur (source : Géoportail)

2. Contexte géologique

2.1. LE MASSIF ARMORICAIN ET LA BRETAGNE

La Bretagne, et plus largement le Massif armoricain (Bretagne + une partie des Pays de la Loire + plus une partie de la Normandie) présente, du fait d'une histoire géologique longue de plusieurs centaines de millions d'années, une géologie complexe et variée qui fut structurée au cours de la formation de 2 chaînes de montagnes : la Chaîne cadomienne (ou panafricaine) et la Chaîne varisque (ou hercynienne ; chaîne érigée lors de la formation du mégacontinent Pangée). Plus de 2 siècles d'observation et de cartographie géologique, comprenant en particulier les travaux réalisés par le BRGM dans le cadre de programme de la carte géologique à 1/50 000^e de la France (≈1950-2015), ainsi que les travaux de recherches en géologie fondamentale menées au cours des 5 dernières décennies ; entre autres, par les Universités de Rennes, de Brest et de Nantes, ont permis de préciser plus ou moins finement le découpage géologique de ce territoire. Ainsi, d'une manière générale, le Massif armoricain est scindé en 2 blocs majeurs (Figure 7 a) qui sont séparés par la branche nord du cisaillement sud armoricain (CSA). Au nord de cette branche, le bloc est nommé « bloc médio-nord-armoricain » tandis qu'au sud il est nommé « bloc sud-armoricain ». Chacun de ces blocs est constitué de plusieurs domaines regroupant des unités lithostratigraphiques ou tectonométamorphiques dont l'évolution paléogéographique et paléotectonique est considérée comme commune ou du moins fortement comparable (Figure 7 b).

Le bloc sud-armoricain (Figure 7 a et b) comprend des séries métamorphiques (schistes, gneiss amphibolites, etc.) principalement paléozoïques qui se caractérisent par une intense déformation et un important métamorphisme enregistré durant l'orogénèse varisque. Ce bloc comprend 3 domaines principaux dont la description ne rentre pas dans le cadre de l'itinéraire présenté ci-après (Figure 7 b).

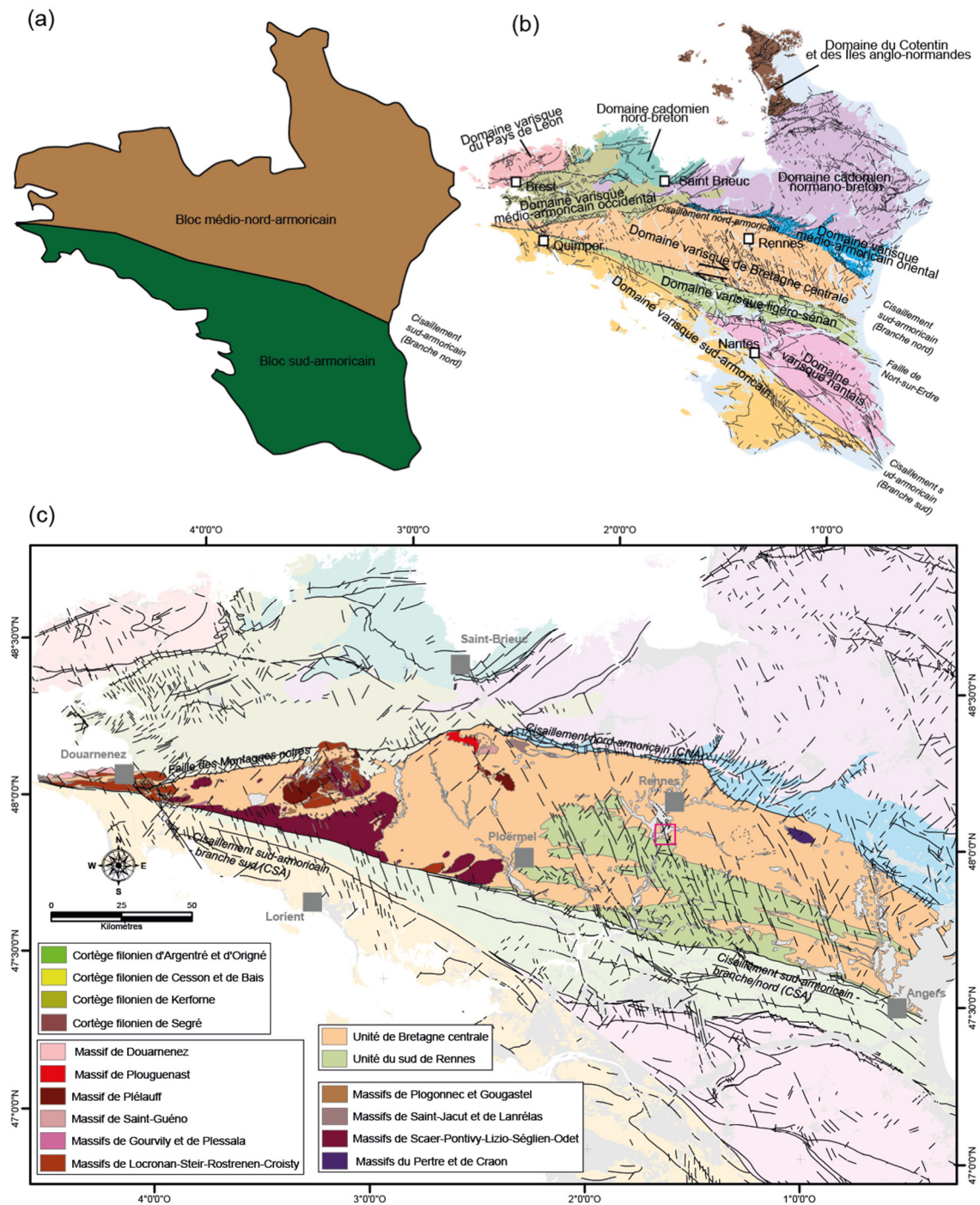
Le bloc médio-nord-armoricain (Figure 7 a et b) comprend principalement des séries sédimentaires et volcaniques néoprotérozoïques à paléozoïques, plus ou moins déformées au cours de l'orogénèse varisque et associées à l'intrusion de nombreux massifs granitiques et granodioritiques. Ce bloc comprend 7 domaines géologiques séparés les uns des autres par des failles tectoniques majeures. Parmi ces derniers, le Domaine varisque de Bretagne centrale prend une place majeure puisqu'il s'étend depuis la baie de Douarnenez à l'ouest jusqu'à Angers à l'est (Figure 7). Ce domaine est limité au sud par le cisaillement sud-armoricain, au nord-ouest par la faille des montagnes noires et au nord-est par le cisaillement nord-armoricain. Il est divisé en 2 unités géologiques principales : l'Unité de Bretagne centrale et l'Unité du sud de Rennes (Figure 7 c).

L'unité de Bretagne centrale (Figure 7 c) forme un ensemble monotone, de wackes, de schistes et de grès (Formation de la Mayenne), parfois métamorphisé (Formation du Faouet) et dont l'âge, bien que difficile à déterminer avec précision, semble être néoprotérozoïque (briovérien). D'un point de vue paléoenvironnement, ces formations géologiques représentent probablement les dépôts d'un petit bassin d'avant pays, à caractère turbiditique (c'est-à-dire dont les sédiments sont déposés à la faveur des courants de turbidité présents entre le plateau et le talus continental dans un contexte de marge passive), adossé à la chaîne cadomienne.

L'Unité du sud de Rennes (**Figure 7 c**) est une unité remarquable dans le paysage breton puisqu'elle arme les reliefs que l'on traverse lorsque l'on parcourt les différentes routes nationales qui partent de Rennes et vont vers les villes de Nantes, de Redon ou encore de Lorient. Cette unité correspond à un empilement sédimentaire paléozoïque qui repose en discordance angulaire sur l'Unité néoprotérozoïque de Bretagne centrale. La sédimentation s'étale entre l'Ordovicien inférieur et le Dinantien (Carbonifère inférieur). Elle débute à l'Ordovicien par une formation grossière et siliceuse (Formation de Pont Réan) et se poursuit en concordance par le dépôt de la Formation du grès armoricain puis par des dépôts schisto-gréseux (Formations de Traveusot et Riadan-Renazé). Au Silurien, la sédimentation est d'abord carbonée, puis schisto-quartzitique. Aucune sédimentation dévonienne n'est enregistrée dans cette unité et, au Dinantien la sédimentation s'achève par le dépôt des grès et arkoses (grès feldspathiques) de la Formation d'Argentré.

Pour le Massif armoricain, le Permien et le Mésozoïque sont une phase durant laquelle la Chaîne varisque (qui devait frôler les 8 000 - 10 000 m d'altitude à la fin du Carbonifère) s'érode progressivement pour devenir une pénéplaine ; ce processus de pénéplanation est probablement achevé dès le Jurassique. A la transition entre le Mésozoïque et le Cénozoïque, le Massif armoricain se trouve sous des latitudes beaucoup plus équatoriales. Le climat y est chaud et humide ce qui permet la formation, aux dépens des unités paléozoïques, d'un épais (plusieurs dizaines de mètres) profil d'altération allant jusqu'à la formation de cuirasses alumino-ferrugineuses (bauxites/latérites) ou siliceuses (silcrètes).

A partir du Jurassique, le Massif armoricain est soumis à une phase d'extension globalement est-ouest résultant des prémices de l'ouverture de l'océan Atlantique et de l'éclatement de la Pangée. Cette extension est, dans un premier temps, marquée par la structuration d'un réseau de failles orientées globalement NNO-SSE dans lesquels s'injectent de nombreux filons de dolérites. Il s'agit par exemple des failles du système Kerforne en Finistère et de Quessoy Nort-sur-Erdre (faille majeure découpant la Bretagne depuis la Baie de Saint-Brieuc jusqu'à la Loire-Atlantique). Si ces failles sont nées au Jurassique, leur fonctionnement, pour les principales, aura perduré jusqu'au Tertiaire ou elles ont constitué les limites de petits bassins d'effondrement que l'on nomme des grabens lorsqu'ils sont limités par 2 failles et des hémigrabens lorsqu'ils sont limités par 1 faille. C'est le cas par exemple de l'hémigraben de la Mayenne situé au nord de la ville de Mayenne, du lac de Grand-Lieu situé en Loire-Atlantique et du Bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne situé au sud de Rennes. Ces bassins sont donc les rares témoins de l'histoire cénozoïque du Massif armoricain.



2.2. LE BASSIN DE BRUZ-CHARTRES DE BRETAGNE

Le bassin tertiaire de Bruz - Chartres-de-Bretagne (**Figure 8**), parfois nommé bassin de Rennes, se situe au sud-ouest de la ville de Rennes. Il fait environ 18 km de long pour 2 à 3 km de large. D'un point de vue cartographique, ce bassin est couvert par les cartes géologiques à 1/50 000^e de Rennes (coupure n°317) pour sa moitié nord et de Janzé (coupure n°353) pour sa moitié sud.

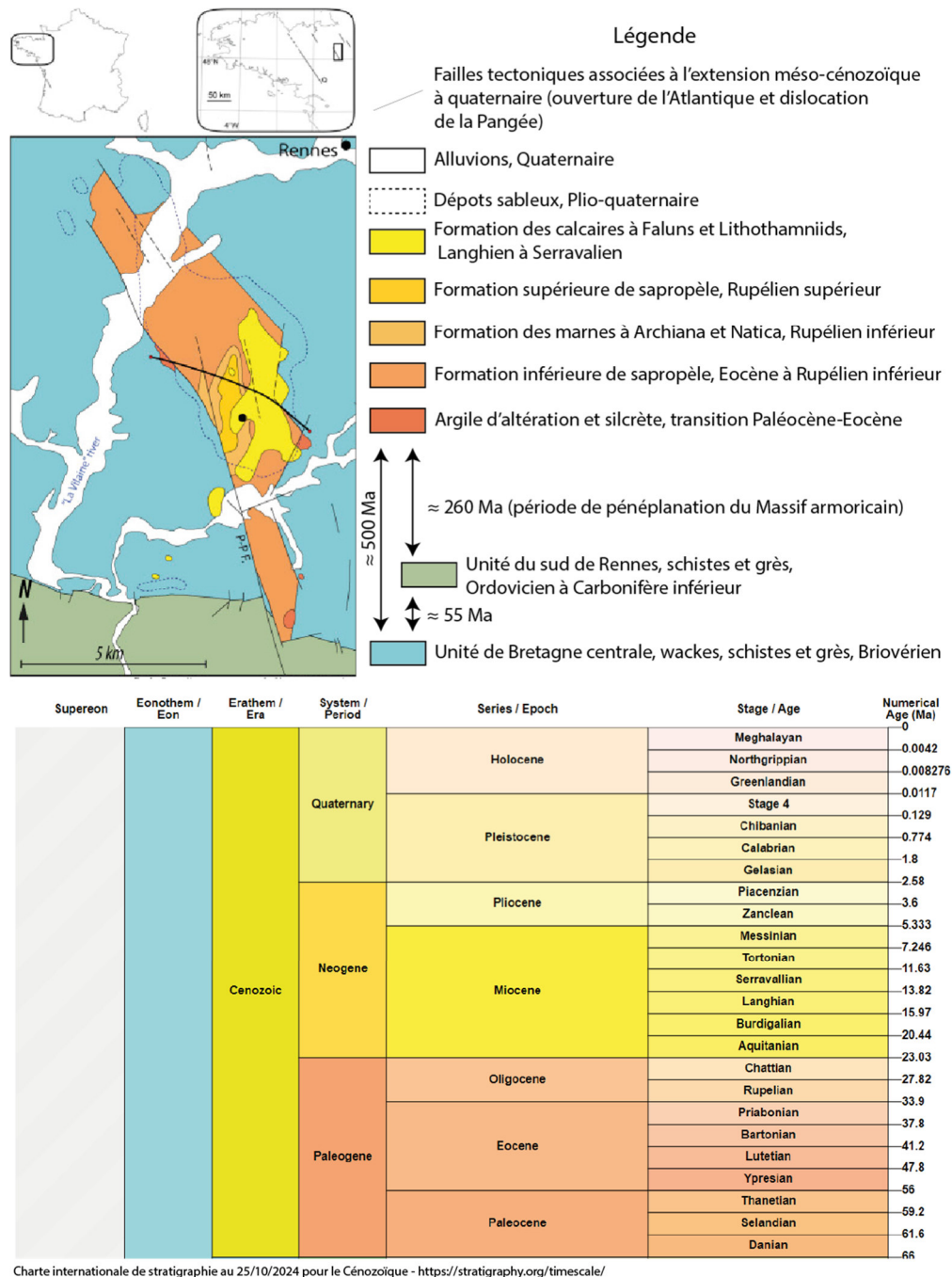


Figure 8 - Schéma géologique du bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne (modifié d'après Bauer et al., 2016) et échelle chronostratigraphique du Cénozoïque extrait par capture d'écran le 25/10/2024 à partir du site [ics-chart](https://stratigraphy.org/timescale/).

Les premières études géologiques concernant ce bassin remontent au 19^e siècle avec les travaux réalisés par Vasseur en 1881 et consignés dans un ouvrage fondamental sur le Tertiaire de Bretagne dans lequel cet auteur proposait les premières grandes lignes de la stratigraphie cénozoïque armoricaine.

Il faudra attendre cependant la seconde moitié du 20^e siècle pour que la stratigraphie et la géométrie du bassin soient mieux définies au travers d'études géophysiques (Jaeger, 1959 et Cluseau, 1958) puis stratigraphiques (Durand, 1960) ; Estéoule-Choux, 1967 ; Ollivier-Pierre, 1980) et enfin géométrique (Brunel, 1971).

En 2010, le BRGM, dans le cadre d'un projet de caractérisation géologique de ce bassin pour une évaluation de son potentiel géothermique et en ressource en eau souterraine, a réalisé un forage profond appelé « CDB1 » (675,05 m) traversant l'intégralité de la séquence sédimentaire du bassin et l'intégralité du profil d'altération développé lors de la transition méso-cénozoïque sur les schistes, wackes et grès de l'Unité de Bretagne centrale. Ce forage, exceptionnel par sa profondeur (il est le plus profond jamais réalisé en Bretagne), a fourni des informations essentielles pour la compréhension des variations paléoclimatiques et paléoenvironnementales du Massif armoricain (et donc de la Bretagne) au cours du Cénozoïque ([Figure 9](#)).

La séquence sédimentaire cénozoïque de ce forage profond a été étudiée précisément par plusieurs chercheurs du BRGM, de l'Université du Maine, de l'Université de Rennes et des sociétés SEMM Logging et ERADATA. Elle a été publiée dans un article de la revue *Compte Rendu de Géosciences* de l'Académie des Sciences (Bauer et al., 2016).

Selon ces chercheurs, la séquence sédimentaire peut être divisée en 6 formations lithostratigraphiques dont l'âge s'étale entre le Barthonien (étage stratigraphique compris entre 41,2 et 37,8 Ma) et le Pliocène (époque comprise entre 5,333 et 2,58 Ma). Chacune de ces formations possède des caractéristiques géologiques (p. ex., composition lithologique, types de pollens présents, taille des grains, etc.) qui lui sont intrinsèques et qui reflètent les conditions paléoenvironnementales en place lors de leur dépôt.

En discordance sur l'Unité de Bretagne centrale, la séquence sédimentaire débute par les dépôts barthoniens de la Formation de Chartres-de-Bretagne. L'épaisseur de cette séquence sédimentaire est d'environ 30 m. Elle comprend à sa base un membre essentiellement conglomératique dont le dépôt, associé à un régime d'écoulement suffisamment puissant pour déplacer des blocs de plusieurs centimètres, est responsable de l'érosion du sommet du profil d'altération de l'Unité de Bretagne centrale. Au-dessus, la Formation de Chartres-de-Bretagne est représentée par un membre argileux, puis par un membre essentiellement gréseux.

Les dépôts se poursuivent au Priabonien (étage stratigraphique de la période Eocène compris entre 37,8 et 33,9 Ma) puis au début du Rupélien (étage stratigraphique de la période Oligocène compris entre 33,9 et 27,82 Ma) par une séquence épaisse d'environ 290 m (Formation inférieure de sapropèle), argileuse, monotone et qui traduit un environnement de sédimentation relativement calme lacustre ou palustre. Cette formation est par ailleurs très riche en tissus végétaux issus d'algues subaquatiques et de plantes mono ou dicotylédones caractéristiques d'environnements marécageux. Enfin, il est à noter que cette formation présente plusieurs surfaces d'érosion qui traduisent autant d'arrêts plus ou moins longs du processus de sédimentation et donc une baisse du niveau d'eau jusqu'à ce que la roche émerge à l'air libre.

Le Rupélien se poursuit par le dépôt de la Formation des Marnes à *Natica Crassatina* dont la puissance est d'une trentaine de mètres. Cette formation débute par un membre grésocalcaire en contact avec la Formation inférieure de sapropèles à travers une surface d'érosion qui traduit également un bref arrêt du processus sédimentaire. La séquence sédimentaire se poursuit par l'alternance de dépôt silto-argileux, puis par un membre calcaire d'un peu moins de 10 m d'épaisseur auquel succèdent le retour des dépôts argilosilteux. D'un point de vue paléoenvironnement de dépôt, une telle formation reflète l'influence progressive d'un environnement marin se développant aux dépens d'un environnement de dépôt palustre ou lacustre.

Le Rupélien inférieur s'achève par le dépôt de la Formation des calcaires à *Archianica*. Puissante d'environ 25 mètres, cette formation est constituée de calcaires gris fossilifères. Parmi les fossiles identifiés, une espèce bien précise de foraminifère (*P. armorica* ; petit organisme marin unicellulaire) adapté à des eaux côtières, limpides et peu profondes a pu être identifiée. L'environnement de dépôt de cette Formation est donc clairement marin, bien que restant probablement côtier ou peu profond.

Le Rupélien s'achève par le dépôt de la Formation supérieure de sapropèle. Cette formation, épaisse d'environ 8 m est constituée de l'alternance d'argilites, de marnes et de calcaires. Cette alternance traduit une influence marine limitée et associée à un environnement de dépôt qui redevient davantage lacustre. Le sommet de cette formation correspond à une surface d'érosion qui suggère son émergence à l'air libre.

Selon l'échelle internationale de stratigraphie (**Figure 8**), la période Oligocène s'achève par un étage d'environ 5 Ma : le Chattien. Cet étage n'a pas été identifié lors de l'étude du forage profond et, au-dessus du Rupélien supérieur, les dépôts observés sont attribués au Miocène (période stratigraphique comprise entre 23,03 et 5,333 Ma). Selon l'échelle internationale de stratigraphie, le Miocène débute par 2 étages qui durent environ 7 Ma : l'Aquitaniens et le Burdigalien. Ces étages n'ont pas non plus été identifiés lors de l'étude du forage. Aussi, si les dépôts sédimentaires succédant au dépôt du Rupélien sont miocènes, ils sont plus précisément Langhien à Serravalien (2 étages stratigraphiques de la période Miocène compris entre 15,97 et 11,63 Ma). Ces dépôts sont représentés par la Formation des calcaires à Faluns et *Lithothamnies* dont l'épaisseur est de l'ordre 21 m. Ce type de dépôt traduit un environnement de sédimentation relativement turbulent compatible avec un estran ou une zone d'avant plage essentiellement soumise à la dynamique des vagues côtières.

Enfin, la séquence sédimentaire de ce bassin s'achève par des dépôts pliocènes essentiellement sableux de la Formation des sables azoïques.

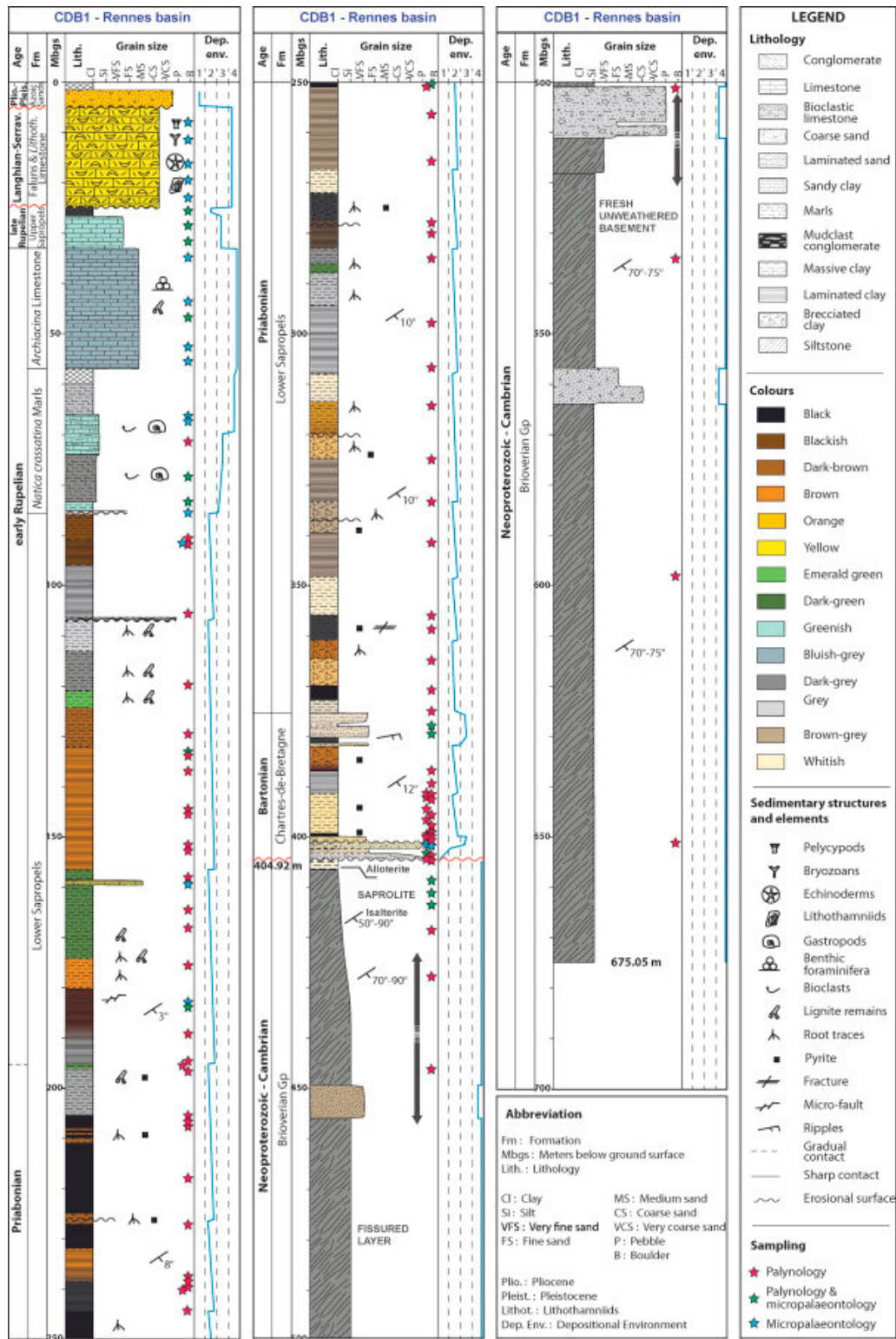


Figure 9 - Log géologique du forage CDB1 réalisé par le BRGM en 2010 au droit du secteur le plus profond du Bassin de Bruz - Chartres-de-Bretagne. Voir texte ci-dessus pour explications.

3. Descriptif des étapes

Ce chapitre répond, pour chacune des 6 étapes de l'itinéraire géologique et hydrogéologique du secteur de Chartres-de-Bretagne, aux questions suivantes : comment accéder au site ?, que peut-on voir ?, et que faut-il en conclure ?.

3.1. LE FORAGE DE RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE DU PROJET CINERGY

Accès au site

Depuis le lieu-dit « Lormandière » sur la commune de Chartres-de-Bretagne, prendre la route des Fours à chaux en direction de la route D44 (la route se termine en impasse et ne rejoint pas la D44). Le site du forage de reconnaissance géologique du projet CINERGY se situe dans une parcelle à droite du bout de la route des Fours à chaux (Figure 10). Le forage est positionné à l'extrémité d'une partie bétonnée et il est recouvert d'un tube cylindrique blanc en plastique. C'est le point de départ de cet itinéraire géologique et hydrogéologique de Chartres-de-Bretagne.



Figure 10 - Site du forage de reconnaissance géologique du projet CINERGY (source : BRGM)

Que voir ? Que conclure ?

Cette 1^{ère} étape permet de décrire géologiquement les formations qui composent le bassin sédimentaire d'âge Tertiaire situé au sud-ouest de Rennes. C'est une structure géologique particulière en forme de « bassine », c'est-à-dire un réservoir d'eaux souterraines qui sont fortement exploitées pour divers usages. Ce bassin d'effondrement est rempli de formations tertiaires : sables, faluns (roches composées de débris coquilliers) ou calcaires. Ces roches sont très différentes de celles que l'on trouve habituellement en Bretagne (granites, schistes, grès, gneiss...) ([lien](#)) et leur perméabilité⁵ est très supérieure à celle des roches dites « de socle » ([lien](#)).

Le site de ce forage de reconnaissance ([Figure 11](#)) qui cumule 3 records sur la région : c'est le forage le plus profond de Bretagne (675 m) ; il est implanté dans le plus grand bassin d'âge Tertiaire de Bretagne (en terme de superficie) et le plus profond (405 m).



Figure 11 - Tête du forage de reconnaissance géologique du projet CINERGY (source : BRGM)

Le bassin de Rennes est un micro-bassin sédimentaire formé au Tertiaire lors d'une grande phase d'extension généralisée à l'échelle du territoire. Comme beaucoup d'autres du même acabit en Bretagne, il a accumulé des sédiments durant cette période. Cependant, des mesures géophysiques par gravimétrie ont mis en évidence depuis les années 1950 un remplissage particulièrement épais, de l'ordre de 500 m, faisant de ce bassin le plus profond de sa catégorie en Bretagne. Le sondage le plus profond avant le

⁵ Perméabilité : propriété d'un milieu solide poreux de se laisser traverser par l'eau.

démarrage du projet CINERGY⁶ en 2010 n'atteignait pas le socle (140 m de profondeur). Une grande inconnue résidait donc dans la nature et l'âge des terrains sous-jacents, d'autant plus que des travaux plus récents avaient posé comme hypothèse la possible préservation de terrains antérieurs (Crétacé, voire Jurassique).

Le projet avait un double objectif (i) de connaissance géologique du bassin de Rennes et (ii) de l'évaluation du potentiel géothermique et de la ressource en eau souterraine de ce même bassin. Pour y parvenir, et répondre au « rendez-vous en terre inconnue », un forage profond entièrement carotté a été réalisé entre juillet et octobre 2010 jusqu'à 675 m de profondeur. Son référencement dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM est le suivant : [BSS000ZNMQ](#) (03531X0208/F). Il est aussi recensé dans l'inventaire national du patrimoine naturel (INPN) sous le numéro [BRE0173](#).

Le financement du projet CINERGY a été assuré grâce au partenariat suivant : Commune de Chartres-de-Bretagne, Etat, Région, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, ADEME, Conseil Général d'Ille-et-Vilaine, Rennes Métropole, SMG Eau 35 (Syndicat Mixte de Gestion pour l'approvisionnement en eau potable de l'Ille-et-Vilaine), SMPBR (Syndicat Mixte de Production d'eau potable du Bassin Rennais), et BRGM. La valorisation scientifique des données acquises lors du forage s'est fait en partenariat scientifique avec l'Université de Rennes 1 - Equipe de l'OSUR (Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes).

La coupe géologique du forage ([Figure 9](#)) montre que l'ouvrage a traversé plusieurs formations géologiques dont certaines sont aquifères (elles contiennent de l'eau) :

- les trois formations du Tertiaire (5 m de sables Pliocène, 20 m de faluns Miocène, et 32 m de calcaires Oligocène) dont les eaux souterraines sont captées pour l'alimentation en eau potable ;
- puis plusieurs formations argileuses oligocènes-éocènes sur près de 350 m d'épaisseur ;
- les formations géologiques du socle briovérien :
 - 19 m de schistes altérés (côtes : -405 à -424 m de profondeur),
 - 16 m de schistes en voie d'argilisation (zone de transition de -424 à -440 m),
 - 50 m d'horizon fissuré de ces schistes (-440 à -490 m),
 - 30 m de schistes sains très faiblement fracturés (-490 à -520 m).

Puis le forage recoupe le socle briovérien non altéré (-520 à -675 m).

La coupe technique du forage est la suivante : 0 à 438 m de profondeur tubage acier 5" cimenté (diamètre intérieur 108 mm) et de 438 à 675 m l'ouvrage est en trou nu. Ce choix a été fait (tubage et cimentation des aquifères tertiaires) pour ne pas capter les eaux souterraines qui sont très utilisées dans le bassin tertiaire pour des usages eau potable et industrielle (cf. les étapes n°4 et 5 de cet itinéraire géologique et hydrogéologique). Par ailleurs, il ne fallait surtout pas mettre en contact ces eaux souterraines avec celles plus profondes.

⁶ CINERGY est un acronyme qui signifie Connaissance de la géologie profonde du bassin tertiaire Rennais, à visée Géothermique et hydrogéologique

Compte-tenu de cette coupe technique, les seuls aquifères captés sont ceux du socle (2 m de zone de transition, puis l'horizon fissuré, et enfin la zone faiblement fracturée).

Le rapport BRGM de 2010 (Bauer et al. 2011) indique que le forage était très peu productif : moins de 100 L/h et que les supposés aquifères secondaires n'ont pas été recoupés (Crétacé, Jurassique). Les diagraphies, prélèvements et analyses d'eau effectués ont montré que l'eau souterraine située à plus de 438 m de profondeur était : noire et légèrement gazeuse (aspect « Coca-Cola »), très minéralisée (chlorurée-sodique), salée (d'origine marine), très ancienne et fossile (non renouvelable).

La perméabilité calculée pour l'aquifère profond des schistes briovériens est de l'ordre de 10^{-9} m²/s, ce qui extrêmement faible (aquifère quasi-imperméable) en comparaison des aquifères connus aux alentours. En effet, la perméabilité des terrains du bassin tertiaire varie de 10^{-4} à 10^{-3} m/s, tandis que celle des formations affleurantes de socle ont des valeurs de 10^{-7} à 10^{-5} m/s.

Le Chapitre 2 « Contexte géologique » a détaillé l'âge des 3 formations composant le sous-sol du bassin tertiaire (calcaires oligocènes, faluns miocènes, sables pliocènes), leurs conditions de mise en place, et leur empilement visible sur une coupe géologique (cf. couches rouge-jaune-bleu en [Figure 4](#)).

Les 6 étapes de l'itinéraire géologique et hydrogéologique du secteur de Chartres-de-Bretagne suivent une logique géologique dans leur cheminement. En effet, l'étape n°1 a cité les différentes formations géologiques composant le bassin tertiaire (formations situées au-dessus du socle briovérien), et l'étape n°2 permet de visualiser 2 types de ces roches : les calcaires oligocènes et les faluns miocènes. L'étape n°3 montre une carrière où ont été extraits les calcaires oligocènes pour les transformer par calcination en chaux ; cette carrière s'est ensuite remplie d'eau souterraine à la fin de son exploitation. Au niveau des étapes n°4 et 5, on peut voir des forages qui pompent l'eau souterraine présente dans ces calcaires oligocènes en lien avec divers usages (eau potable ou eau industrielle). L'étape n°6 se focalise quant à elle sur la surveillance en continu du niveau des nappes.

3.2. LES ROCHES DES MURS DU MONUMENT DES FOURS A CHAUX

Accès au site

Faire demi-tour pour aller à la 2^{nde} étape de cet itinéraire géologique et hydrogéologique. Remonter la route des Fours à chaux jusqu'au lieu-dit « Lormandière ». S'arrêter à côté du monument des anciens fours à chaux au croisement entre Matal et La Haye des Perrières. Aller voir le mur du bâtiment situé à droite de la route qui va à La Haye des Perrières ([Figure 12](#)).



Figure 12 - Exemple d'un mur en bord de route du monument des anciens fours à chaux du lieu-dit Lormandière (source : BRGM)

Que voir ? Que conclure ?

Cette 2nde étape permet de voir deux formations géologiques présentes dans le bassin tertiaire situé à Chartres-de-Bretagne, de constater qu'elles sont utilisées comme matériaux de construction, et de parler du chemin de l'eau au sein de ces formations.

Les murs du monument des anciens fours à chaux sont composés de différentes roches parmi lesquelles on peut observer quelques Schistes rouges de la Formation de Pont-Réan (faciès rouges pourprés en [Figure 12](#)) et surtout deux formations géologiques tertiaires : beaucoup de faluns miocènes et quelques calcaires oligocènes (cf. roches respectivement jaunes ou blanches en [Figure 13](#)). Les pierres de ces murs proviennent de la carrière voisine de Lormandière (cf. étape n°3 de cet itinéraire). Au niveau des murs de cette étape n°2, il est possible de toucher ces roches et d'apprécier leur texture (sableuse, calcaire, poreuse, friables, et avec des débris coquilliers comme fossiles).



Figure 13 - Photographie des différentes roches composant un mur du monument des fours à chaux : faluns miocènes jaunâtres entourant une roche plus blanche composée de calcaires oligocènes (source : BRGM)

La commune de Chartres-de-Bretagne est bien connue pour ses anciens fours à chaux qui attestent que ces roches sont riches en calcaires ([lien](#)). Ces roches ont été longtemps extraites à ciel ouvert au droit de la carrière de Lormandière (cf. étape n°3 de cet itinéraire géologique et hydrogéologique).

Ce sous-sol calcaire, rare en Bretagne, lui valut d'être exploité à partir de 1853 pour fabriquer de la chaux. Au début du 20^{ème} siècle, la « Société des fours à chaux de Lormandière et de la Chaussairie réunis » constituait la plus importante entreprise de production de chaux en Bretagne. La chaux est le fruit de la calcination de ces roches calcaires. Cette chaux vive obtenue (chaux sortie du four à chaux) a servi d'amendement agricole à partir du 19^{ème} siècle pour améliorer la qualité des terres acides. La chaux est également utilisée dans le bâtiment. Fermé en 1938, le site industriel réhabilité constitue aujourd'hui un patrimoine industriel totalement intégré à l'environnement.

Les calcaires oligocènes sont appelés par les géologues : « Calcaires à Archiacina et marnes à Natica crassatina, du Stampien inférieur marin ». Ces roches, à faune de gastéropodes et de foraminifères ([Figure 14](#)) surmontent des argiles très riches en gastéropodes et sont surmontées de quelques mètres d'argiles noires qui ont livré des restes de poissons (deux espèces recensées). Les argiles renferment des pollens importants pour la reconstitution des paysages oligocènes. Les calcaires observés dans les murs des bâtiments sont grossiers blancs jaunâtres à foraminifères (Archiacina

armorica, miliolles), gastéropodes (*Cerithium plicatum*, *C. trochleare*), et lamellibranches (*Pectunculus obovatus*) ; malacofaune marine du Rupélien (Trautmann et al., 1994). Le contenu palynologique de ces niveaux est typique du Stampien inférieur : abondance et diversité des pinacées, du genre *Engelhardtia* et des araliacées, présence du marqueur *Boehlensipollis hohli*.

Les faluns miocènes composent la très grande majorité des roches observables au niveau des murs du monument des anciens fours à chaux. Ce sont des sables carbonatés très coquilliers, riches en bryzoaires, algues (*Lithothamnium*), foraminifères, polypiers et mollusques à coquilles brisées et roulées (Trautmann et al., 1994) (Figure 15). Les dents de squales sont fréquentes ainsi que des débris de vertébrés, surtout à la base des faluns (*Halitherium*, *Dinotherium*, *Mastodon*). La glauconie est présente dans la fraction sableuse, en grains isolés, en masses irrégulières et altérées ou moulant les loges des bryozoaires. Les faluns sont localement consolidés de façon très aléatoire, et les *Lithothamnium* peuvent constituer de véritables « récifs ». Au Miocène (Serravallien), la sédimentation marine à fort détritisme de la « mer des faluns » a envahi partiellement la Bretagne.

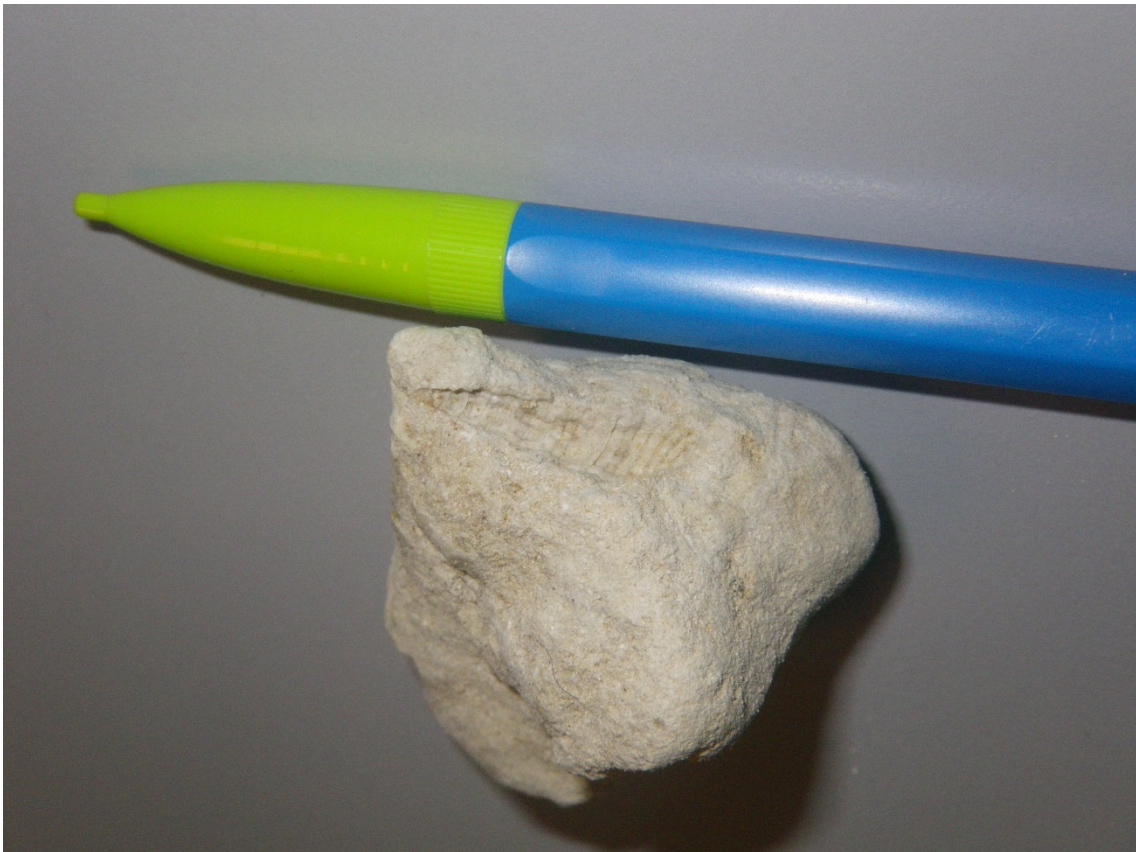


Figure 14 - Détail de débris coquiller dans un calcaire oligocène (source : BRGM)



Figure 15 - Aperçu des débris coquillers dans les faluns miocènes d'un mur des fours à chaux (source : BRGM)

En observant en détail à l'œil nu les faluns miocènes, on peut remarquer des différences granularité et donc de porosité⁷ (Figure 16) avec certaines roches à grains grossiers et d'autres à grains très fins. Des trous de plusieurs centimètres sont aussi visibles. Ceci va entraîner différents types de porosités et donc des espaces de tailles variables dans lesquels l'eau va pouvoir se positionner et circuler. Des roches sont donc dites aquifères c'est-à-dire suffisamment poreuses et conductrices pour contenir de l'eau souterraine et permettre son écoulement significatif.

Si l'on observe les plans de fractures naturels dans les roches, on peut également remarquer des auréoles avec des traces d'oxydations riches en fer, qui montrent que l'eau souterraine a pénétré et circulé dans la roche (Figure 13). Cette eau souterraine altère la roche qui devient friable. Le fer est déposé sur les parois des fractures, on dit qu'elles sont tapissées d'oxydes et hydroxydes de fer. Les roches prennent ainsi localement une teinte plus ocre. A l'affleurement, certaines roches sont en effet friables (on peut les casser avec les doigts) ce qui témoigne de leur altération avec le temps.

⁷ Propriété d'une roche de comporter des vides interconnectés ou non, exprimée quantitativement par le rapport du volume de ces vides au volume total de la roche considérée.



Figure 16 - Détail de porosités différentes au sein des roches d'un mur du monument des fours à chaux (source : BRGM)

Si l'on parle du cycle de l'eau au droit du bassin tertiaire de Chartres-de-Bretagne ([lien](#)), on peut imaginer qu'une partie de l'eau de pluie qui tombe sur la végétation à la surface du sol va s'infiltrer dans les roches du sous-sol par leurs réseaux de pores, diaclases, fissures et fractures, et rejoindre les eaux souterraines de la nappe phréatique. Celles-ci viendront ensuite alimenter la rivière de la Seiche.

Si l'on considère le bassin versant de la Seiche en amont de la station hydrométrique de Bruz [Carcé] (superficie 820 km²), en moyenne annuelle, il pleut environ 840 mm/an. 70 % des précipitations qui arrivent au sol s'évaporent (585 mm), 14 % ruissellent vers les cours d'eau (121 mm), et 16 % s'infiltrent dans le sous-sol (134 mm). En effet, une partie de l'eau de pluie est utilisée par le sol et les plantes (~3/4 des pluies), et une autre partie (~1/4) alimente par ruissellement les eaux de surface (étangs et rivières) et les nappes phréatiques. Le solde s'infiltré lentement dans le sol et le sous-sol pour la recharge des nappes d'eau souterraine (aquifères des calcaires oligocènes, des faluns miocènes, et des sables pliocènes). Après écoulement de ces eaux souterraines dans le sous-sol, la rivière de la Seiche constitue l'exutoire de ces réserves en eaux souterraines. En effet, d'après les résultats issus du projet SILURES Bretagne (cf. rapport BRGM/RP-55001-FR), la contribution globale annuelle des eaux souterraines à l'alimentation de la Seiche s'élève à 53 %. Ceci indique que plus de la moitié de son écoulement provient des eaux souterraines. Par ailleurs, durant la période d'étiage (généralement de juin à septembre) et quand la rivière n'est pas à sec, la participation des eaux souterraines est importante, voire totale en juillet-août.

Les étapes suivantes de l'itinéraire géologique et hydrogéologique du secteur de Chartres-de-Bretagne mettent en évidence la présence d'eaux souterraines dans le sous-sol du bassin tertiaire.

3.3. LE SENTIER LORMANDIERE ET SON ANCIENNE CARRIERE

Accès au site

Après La Haye des Perrières, prendre à droite sur la route de Lormandière. Tourner à droite au panneau « Espace naturel du Conseil Départemental d'Ille-et-Vilaine » pour rejoindre le parking où démarre le sentier Lormandière (**Figure 17**).

Après vous être garé dans le petit parking, démarrer le sentier en contournant l'ancienne carrière (remplie d'eau) dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en direction des anciens fours à chaux. Plusieurs panneaux explicatifs sont disponibles tout au long du sentier qui fait une boucle autour du plan d'eau (« Parcours du site », « Sous vos pieds se trouvent 40 millions d'années d'archives géologiques », « Le témoignage d'une époque »...).

Au niveau du sentier Lormandière, deux solutions sont possibles : faire le tour complet de l'ancienne carrière en eau et aller à l'étape n°4 en voiture, ou faire la moitié de la boucle autour du plan d'eau pour aller à l'étape n°4 à pied puis faire demi-tour pour revenir au parking.



Figure 17 - Accès au sentier Lormandière à Chartres-de-Bretagne (source : BRGM)

Que voir ? Que conclure ?

Cette 3^{ème} étape permet notamment de voir une carrière où ont été extraits les calcaires oligocènes pour les transformer par calcination en chaux ; cette carrière s'est ensuite remplie d'eau souterraine à la fin de son exploitation. Cette étape permet également de commencer à parler du suivi régulier du niveau des nappes au sein du bassin tertiaire.

Un sentier de découverte a été aménagé sur place pour faire revivre le patrimoine naturel et industriel. Le Département d'Ille-et-Vilaine est propriétaire du site depuis 1988 ([lien](#)).

La 1^{ère} sous-étape consiste à aller voir les deux panneaux explicatifs disponibles au début du sentier. On trouve tout d'abord un panneau avec le parcours du site (rappel : contourner l'ancienne carrière dans le sens inverse des aiguilles), et ensuite un autre panneau intitulé « Sous vos pieds se trouvent 40 millions d'années d'archives géologiques ». Ces archives correspondent aux affleurements géologiques qui étaient observables jusqu'à une quarantaine de mètres de profondeur quand la carrière était en activité. Des formations les plus anciennes aux plus récentes, on peut lire notamment les mentions suivantes : calcaires oligocènes (« le calcaire nécessaire à la fabrication de la chaux ; -40 Millions d'années ») et faluns miocènes (« -15 Millions d'années (mer des Faluns) »).

Après quelques minutes de marche, on aperçoit à gauche du sentier l'ancienne carrière de calcaires en eau ; c'est la 2^{nde} sous-étape ([Figure 18](#)). L'eau a une couleur turquoise car le fond du plan d'eau est composé de calcaires oligocènes blancs.

La carrière de Lormandière est un site géologique protégé et c'est un [espace naturel](#) du Département d'Ille-et-Vilaine. La carrière est aussi recensée dans l'inventaire national du patrimoine naturel (INPN) sous le numéro [BRE0084](#). Le site Lormandière est également classé zone naturelle d'intérêt écologique, floristique et faunistique (ZNIEFF) car il abrite des plantes remarquables dont des orchidées rares : l'ophrys abeille, l'orchis pyramidal et l'orchis bouc ([lien](#)).

L'ancienne carrière alimentait les fours à chaux situés en bordure du plan d'eau. Comme expliqué précédemment, le sous-sol calcaire était exploité pour fabriquer de la chaux agricole et hydraulique. Fermé depuis 1938, ce site naturel est devenu un témoin de l'activité d'extraction et de transformation des calcaires.

Le document édité par la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne à l'occasion de ces « 100 ans de géologie » (Gendry, 2020) présente des photographies datant de 1927 qui montrent les fronts de taille de la carrière hors d'eau ([lien](#) ; voir notamment « Fig. 29 - La SGMB en excursion dans la carrière de calcaires oligocènes de Lormandière (Chartres-de-Bretagne, Ille-et-Vilaine), carte postale » p. 29 de cet article).



Figure 18 - Ancienne carrière de Lormandière à Chartres-de-Bretagne (source : BRGM)

En poursuivant le sentier, on accède à la 3^{ème} sous-étape c'est-à-dire au site des anciens fours à chaux ([Figure 19](#)).

Deux panneaux, situés à côté de l'enceinte clôturée des fours à chaux, détaillent l'histoire de l'activité industrielle du site (cf. [Figure 20](#) avec un détail du panneau « Le témoignage d'une époque »).

En lien avec cet itinéraire géologique et hydrogéologique, une phrase intéressante est à noter sur ce panneau « En juillet 1938, l'assèchement de la carrière est arrêté, elle se remplit d'eau en quelques jours ». Ceci indique que les calcaires oligocènes sont riches en eau souterraine et que l'eau visible dans le plan d'eau est composée presque exclusivement d'eau souterraine.

A Chartres-de-Bretagne, au croisement de la rue André Citroën et de la rue des Fours à Chaux, il existe une autre localité avec 7 anciens fours à chaux édifiés entre 1865 et 1878 ([lien](#)). On peut noter que les matériaux de construction de ces fours étaient principalement des schistes pourpres (Schistes rouges de la Formation de Pont-Réan) ; pierres qui devaient être disponibles avant le creusement de la carrière de Lormandière. Ce site web indique que les fours « étaient desservis depuis la carrière de calcaire, aujourd'hui inondée, par des wagonnets tractés par un treuil électrique ».



Figure 19 - Anciens fours à chaux visibles au sentier Lormandière (source : BRGM)



Figure 20 - Exemple de panneau explicatif de l'ancienne activité de la carrière ; panneau du sentier Lormandière (source : BRGM)

Après avoir fait le tour complet du plan d'eau et juste avant de revenir au parking, la 4^{ème} et dernière sous-étape permet de voir un piézomètre qui effectue un suivi du niveau de la nappe au sein du bassin tertiaire (référencement BSS : BSS000ZNQC - 03531X0268/PZ1). Il est visible à droite du sentier en bordure de forêt ([Figure 21](#)).

Le piézomètre Pz1 a été réalisé en 2015 à une profondeur de 26 m. D'après sa coupe géologique, il recoupe les calcaires oligocènes de 6 à 26 m de profondeur ([lien](#)). Il est équipé avec un tubage PVC en diamètre 83 mm qui doit être crépiné au fond. Son objectif est de suivre régulièrement la profondeur de la nappe calcaire.

L'arrêté préfectoral du 11 octobre 2012 autorise des prélèvements d'eau souterraine en lien avec des usages eau potable ou industriel dans le bassin tertiaire (cf. respectivement les étapes n°4 et 5 de cet itinéraire géologique et hydrogéologique). Cet arrêté mentionne aussi l'obligation de suivre régulièrement les niveaux de la nappe du bassin afin d'éviter toute surexploitation des aquifères pompés. A ce sujet, il est indiqué que la cote minimale à ne pas dépasser au droit du plan d'eau de l'ancienne carrière de Lormandière est de 28 m NGF.

Pour des raisons techniques (accessibilité au fond de carrière notamment), il a été préféré de mesurer le niveau dans le piézomètre Pz1 (ouvrage réalisé spécialement pour ce suivi réglementaire) plutôt que de faire une mesure directe dans le plan d'eau. Ainsi, le piézomètre Pz1 a été positionné à 120 m au nord du plan d'eau Lormandière.

Il est donc utilisé pour ce suivi réglementaire. Compte-tenu (i) de l'altitude du sol au droit de ce piézomètre (~42 m NGF) et (ii) de la cote minimale dans le plan d'eau (28 m NGF), la profondeur de la nappe à ne pas dépasser se situe à environ 14 m sous le sol au droit du piézomètre Pz1.



Figure 21 - Piézomètre Pz1 au sentier Lormandière (source : BRGM)

3.4. LE CAPTAGE D'EAU POTABLE DE LA PAVAIS

Accès au site

Deux solutions sont possibles pour accéder à La Pavais à sur la commune de Chartres-de-Bretagne : à pied ou en voiture.

La première solution consiste à suivre le sentier Lormandière à pied : après avoir fait la moitié du tour de l'ancienne carrière, croiser la route des Fours à chaux pour prendre le chemin de La Pavais jusqu'à la rue du Callouet, tourner à gauche et trouver le site du captage d'eau potable de La Pavais au niveau du carrefour avec la première route à droite (**Figure 22**).

Pour la seconde solution en voiture, il faut suivre ces étapes : prendre à gauche en sortant du parking du sentier sur la route de Lormandière, puis à gauche sur La Haye des Perrières, après avoir laissé sur la gauche le site de l'étape n°2 tourner à droite sur La Butte, prendre à gauche sur Le Bas Bois et continuer sur La Houssais, tourner à gauche sur la rue du Callouet et trouver le site du captage d'eau potable de La Pavais au niveau du carrefour avec la première route à droite (**Figure 22**).

Après avoir vu ce site, les plus courageux pourront poursuivre leur chemin jusqu'au n°6 rue de la Pavais pour voir un four à pain construit avec les « pierres du coin » (faluns miocènes et calcaires oligocènes, comme celles vues à l'étape n°2 de cet itinéraire).



Figure 22 - Captage d'eau potable de la Pavais à Chartres-de-Bretagne (source : BRGM)

Que voir ? Que conclure ?

Cette 4^{ème} étape permet de confirmer la forte présence d'eau souterraine dans les calcaires oligocènes, et de cerner son utilisation pour l'eau potable.

Au sein de l'enceinte grillagée et fermée de La Pavais, on peut voir 2 captages souterrains : un forage (référencement BSS : BSS000ZNFA - 03531X0007/F) et un piézomètre (BSS000ZNPL - 03531X0252/F).

Au lieu-dit La Pavais, la Collectivité Eau du Bassin Rennais (CEBR⁸) (appelé anciennement « Syndicat Mixte de Production d'eau potable du Bassin Rennais - SMPBR ») prélève depuis les années 1970 de l'eau souterraine présente dans la formation géologique des calcaires oligocènes via un [forage](#), dans un objectif de production d'eau potable ([Figure 23](#)). Cet ouvrage, réalisé en 1962 à une profondeur de 54 m, recoupe ~10 m de sables pliocènes puis 44 m de calcaires oligocènes ([lien](#)). La coupe technique du forage est la suivante : de 0 à 32.5 m de profondeur tubage plein en diamètre 700 mm (la hauteur de cimentation des premiers mètres n'est pas connue), de 32.5 à 49 m l'ouvrage est crépiné, et de 49 à 54 m du tubage plein. Le captage de l'eau souterraine des calcaires oligocènes est effectué via une pompe immergée positionnée à 47 m de profondeur. D'après le « Rapport du Bilan d'exploitation et suivi de la nappe tertiaire des captages de la Pavais, la Marionnais et Fénicat - Année 2018 », rédigé en mars 2019 par Log Hydro, 511 027 et 586 759 m³ d'eau souterraine ont été prélevés en 2017 et 2018 dans ce forage.

L'arrêté préfectoral du 11 octobre 2012 autorise la CEBR à prélever sur ce forage un débit maximal de 180 m³/h et 4 320 m³/j, tout en respectant un niveau minimum de la nappe en exploitation à 7 m NGF (soit une profondeur d'environ 32 m sous le sol).

Le piézomètre, foré en 1991 à une profondeur de 51 m, a traversé de son côté 9 m de sables pliocènes puis 42 m de calcaires oligocènes ([lien](#)). Sa coupe technique indique : de 0 à 24.5 m de profondeur un tubage plein en diamètre 113/125 mm (une cimentation existe sur les 16 premiers mètres), et de 24.5 à 51 m l'ouvrage est crépiné. Son objectif est de suivre régulièrement la profondeur de cette nappe calcaire (niveau dynamique lié à l'exploitation du forage voisin).

⁸ La CEBR est l'autorité organisatrice du service de l'eau pour 75 communes du Bassin Rennais (548 365 habitants), du point de captage au robinet. La Collectivité s'appuie sur un dispositif d'alimentation en eau potable comprenant : 17 ressources (5 superficielles et 12 souterraines) et 12 usines de traitement. La production annuelle 2021 est d'environ 26 900 000 de m³ ([lien](#)).



Figure 23 - Forage et piézomètre de la Pavais à Chartres-de-Bretagne situés entre les deux bâtiments (source : BRGM)

La ressource en eau souterraine prélevée par le forage est protégée contre les pollutions potentielles de surface par 3 périmètres de protection : immédiat, rapproché et éloigné ([lien](#)). Au droit du site de La Pavais, on peut voir le périmètre de protection immédiat autour de l'ouvrage, qui est clôturé et fermé ([Figure 22](#)). Ces 3 périmètres de protection ont pour objectif de préserver la ressource contre les pollutions accidentelles, ponctuelles et locales ([lien](#)). Une surveillance annuelle des prescriptions associées à ces périmètres est mise en œuvre par la CEBR avec l'aide du SMG Eau 35.

La qualité de l'eau souterraine brute et traitée issue du forage est suivie par la CEBR (autocontrôle) et par l'Agence Régionale de Santé (Délégation Départementale d'Ille-et-Vilaine) dans le cadre du suivi sanitaire. L'eau a une dominante calcique, dure et entartrante. Le portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines ADES (<https://ades.eaufrance.fr/>) permet de visualiser l'évolution de la qualité de l'eau souterraine depuis 1983 ([lien](#)). On peut par exemple voir que les teneurs en nitrates ont oscillé entre 7.1 et 36.6 mg/l.

Sur la commune de Chartres-de-Bretagne, on peut également signaler que la CEBR prélève l'eau souterraine des calcaires oligocènes dans le forage de Fénicat (réalisé en 1945) et celle des faluns miocènes dans le forage de La Marionnais (1962) ([lien](#)). Ce sont aussi des ouvrages liés à la distribution d'eau potable. L'arrêté préfectoral du 11 octobre 2012 autorise la CEBR à prélever sur ces 2 forages des débits maximaux respectivement : de 70 m³/h et 1 680 m³/j (pour le point d'eau de Fénicat), et de 90 m³/h et 2 160 m³/j (pour La Marionnais).

Ces 3 captages d'eau potable (Pavais-Fénicat-Marionnais) témoignent de l'importante quantité d'eau souterraine présente dans le bassin tertiaire.

L'une des particularités de cette nappe souterraine tertiaire est d'être utilisée également pour les besoins en eau industrielle de l'usine automobile Stellantis⁹ (anciennement nommé PSA ; cf. étape 5 de cet itinéraire géologique et hydrogéologique). Une convention entre la CEBR et Peugeot Citroën SNC a été signée en 2012. Elle définit les modalités de suivi et de gestion commune de la nappe permettant d'éviter toute surexploitation des aquifères pompés. La CEBR s'est notamment engagée à réaliser un suivi des niveaux de la nappe du bassin tertiaire et à s'assurer que ses prélèvements ne conduisent pas à un dépassement du prélèvement global (Stellantis + CEBR) sur la nappe de 1 700 000 m³ (prescription de l'arrêté du 11 octobre 2012). Quatre points d'eau observés lors de cet itinéraire géologique et hydrogéologique font partie du dispositif de suivi réglementaire (Plan d'eau de l'ancienne carrière de Lormandière et piézomètre Pz1 vus à l'étape n°3, forage et piézomètre de La Pavais aperçus à l'étape n°4).

3.5. UN FORAGE D'EAU INDUSTRIELLE DU GROUPE STELLANTIS

Accès au site

Environ 5 minutes de voiture sont nécessaires pour se rendre à l'étape n°5 de cet itinéraire géologique et hydrogéologique. Depuis La Pavais, prendre à droite sur la rue du Callouet pour rejoindre la route D44. Au rond-point, prendre la 3^{ème} sortie sur la D837 en direction de Rennes/Chavagne/Mordelles, puis au second rond-point, prendre la 2^{ème} sortie pour aller en direction de la zone industrielle de la Motte. Prendre à gauche vers la ZI de la Motte, continuer tout droit puis prendre à droite rue du Champ Martin, et enfin la première route à gauche. Le site du forage d'eau industrielle du groupe Stellantis se trouve au croisement des rues du Champ Martin et Joseph Halléguen ([Figure 24](#)).

⁹ Stellantis est un groupe automobile multinational franco-italo-américain, de droit néerlandais, fondé le 16 janvier 2021 résultant de la fusion des groupes Groupe PSA et Fiat Chrysler Automobiles.



Figure 24 - Site d'un forage d'eau industrielle du Groupe Stellantis (source : BRGM)

Que voir ? Que conclure ?

Cette 5^{ème} étape permet de confirmer à nouveau la présence d'eau souterraine au sein du bassin tertiaire, et d'identifier son utilisation pour l'eau industrielle.

Au sein de l'enceinte grillagée et fermée, on peut voir 2 captages souterrains : un forage appelé « Puits 7 » (référencement BSS : BSS000ZNPW - 03531X0262/P7) (Figure 25) et un piézomètre nommé PzH (BSS000ZNPX - 03531X0263/PZ7) (Figure 26).

Le forage, réalisé en 2014 à une profondeur de 25 m, recoupe 4 m de sables pliocènes puis 21 m de calcaires oligocènes. La coupe technique du forage est la suivante : de 0 à 10 m de profondeur tubage plein en diamètre 300 mm (une cimentation existe sur ces 10 premiers mètres), de 10 à 21 m l'ouvrage est crépiné, et de 21 à 25 m du tubage plein. Le captage de l'eau souterraine des calcaires oligocènes est effectué via une pompe immergée.

Le piézomètre, foré en 2014 à une profondeur de 22 m, a traversé de son côté 6 m de sables pliocènes puis 16 m de calcaires oligocènes. Sa coupe technique indique : de 0 à 10 de profondeur un tubage plein en diamètre 113/125 mm (cette partie est cimentée), et de 10 à 22 m l'ouvrage est crépiné. Son objectif est de suivre régulièrement la profondeur de cette nappe calcaire (niveau dynamique lié à l'exploitation du forage voisin).



Figure 25 - Puits 7 du Groupe Stellantis (source : BRGM)



Figure 26 - Piézomètre PzH du Groupe Stellantis (source : BRGM)

L'usine du Groupe Stellantis exploite pour ses besoins en eau industrielle plusieurs forages et assure une surveillance de la nappe (suivi piézométrique) sur un réseau de piézomètres répartis sur le site de l'usine automobile de La Janais. L'eau souterraine est utilisée dans les différents process automobiles : peinture, refroidissement, lavage... Le forage « Puits 7 » ([Figure 25](#)) est l'un des 4 points de captage utilisés (profondeurs allant de 25 à 32 m), et le piézomètre PzH ([Figure 26](#)) fait partie d'un réseau de 7 points dédiés au suivi piézométrique de la nappe exploitée (profondeurs de 15 à 30 m).

Selon leur positionnement géographique, les 4 forages exploitent les eaux souterraines des 3 formations géologiques d'âge Tertiaire du bassin sédimentaire (sables Pliocène, faluns Miocène et calcaires Oligocène). On peut noter que ces 11 points d'eau Stellantis sont situés dans le périmètre de protection éloigné des 3 captages d'eau potable exploités par la CEBR ([lien](#)). On rappelle qu'une convention entre la CEBR et Peugeot Citroën SNC a été signée en 2012. Elle définit les modalités de suivi et de gestion commune de la nappe permettant d'éviter toute surexploitation des aquifères pompés.

Par arrêté préfectoral du 2 avril 2004, l'entreprise Stellantis est autorisée à prélever dans la nappe d'eau souterraine tertiaire un débit maximal de 500 m³/h et 3 000 m³/j¹⁰. Cet arrêté demande à Stellantis de surveiller la nappe en effectuant : des relevés piézométriques réguliers sur forages et piézomètres, et des analyses chimiques sur les eaux brutes des puits.

Les prélèvements d'eau souterraine effectués par PSA dans ces différents forages ont varié entre 554 000 m³ en 1999 et 98 979 m³ en 2016. D'après le « Rapport du Bilan d'exploitation et suivi de la nappe tertiaire des captages de la Pavais, la Marionnais et Fénicat - Année 2018 », rédigé en mars 2019 par Log Hydro, 141 525 m³ d'eau souterraine ont été prélevés en 2018 dans le forage « Puits 7 ».

Cette utilisation industrielle, complémentaire de l'usage pour l'eau potable, témoigne de la qualité de la ressource en eau souterraine présente dans le bassin tertiaire.

3.6. LE PIEZOMETRE BRGM SITUE A LA DIRECTION INTER-REGIONALE OUEST DE METEO-FRANCE

Accès au site

Environ 10 minutes de voiture sont nécessaires pour aller à la dernière étape de cet itinéraire géologique et hydrogéologique, qui est située sur la commune de Saint-Jacques-de-la-Lande. Pour cela, faire demi-tour depuis l'étape n°5 précédente pour sortir de la zone industrielle de la Motte. Au rond-point, prendre la 1^{ère} sortie en direction de Chavagne/Mordelles et rejoindre la D34. Au rond-point suivant, prendre la 2^{ème} sortie et continuer sur la D34. Au prochain rond-point, prendre la 1^{ère} sortie pour continuer sur La Haie Gautrais puis sur la rue Jules Vallès. La destination se trouve sur la droite à la Direction inter-régionale ouest de Météo-France, 27 Rue Jules Vallès, sur la commune de Saint-Jacques-de-la-Lande ([Figure 27](#)).

¹⁰ On peut noter que ce débit maximum journalier attribué à Stellantis est 2.2 fois plus bas que celui autorisé à la CEBR (sur les 3 captages d'eau potable, débit maximum de 6 600 m³/j).



Figure 27 - Site de la Direction inter-régionale ouest de Météo-France et poster expliquant le fonctionnement du piézomètre situé en arrière-plan (source : BRGM)

Que voir ? Que conclure ?

Cette 6^{ème} étape permet de continuer à parler de suivi en continu du niveau de la nappe et d'observer une station de mesure en temps réel du BRGM.

Depuis décembre 2024, le BRGM a exposé sur la clôture visible en [Figure 27](#) un poster expliquant le fonctionnement de cette station de suivi.

Au sein de l'enceinte de la Direction inter-régionale ouest de Météo-France à Saint-Jacques-de-la-Lande, le BRGM suit en continu depuis 2004 le niveau de la nappe phréatique dans un forage appelé « piézomètre » (référéncé : BSS000XNZX (03175X0338/PZ) - Piézomètre chez METEO-FRANCE (St-Jacques -35)). Cet ouvrage, de 53 m de profondeur (pour 60 m forés), capte l'eau souterraine des schistes briovériens (situés sous les alluvions et les sables pliocènes). Il appartient au réseau piézométrique de Bretagne qui comporte 52 points d'eau ([lien](#)).

Le suivi géologique des terrains traversés par ce forage a rencontré de 0 à 4 m de profondeur des alluvions argileuses avec passages de quartz, de 4 à 7 m des sables et graviers pliocènes, et de 7 à 60 m des schistes briovériens très argileux. Sa coupe géologique et technique est accessible via ce [lien](#) (cf. onglet « Document(s) numérisé(s) »).

Ce piézomètre est un forage réalisé au marteau fond de trou en diamètre 180 mm, équipé d'un tubage PVC 115-125 mm (plein de 0 à 13 m, et crépiné de 13 à 53 m), et

cimenté en tête sur 10 m de hauteur entre le tube PVC et le terrain. En surface, on observe une dalle béton de propreté de 3 m² en dôme et de 20 cm d'épaisseur au niveau du sol pour ancrage du tubage PVC. La protection et l'accès à la tête de forage se fait par une buse circulaire de diamètre 60 cm munie d'un couvercle et fermeture cadenassée avec barre acier (**Figure 28**).



Figure 28 - Piézomètre BRGM situé sur le site de la Direction inter-régionale ouest de Météo-France (source : BRGM)

Le forage est équipé d'un capteur pression permettant le suivi en continu du niveau de nappe, avec un système de télétransmission assurant le rapatriement des données mesurées jusqu'au BRGM (**Figure 29**). Le niveau de la nappe varie entre 1.8 et 2.7 m de profondeur (moyenne 2.3 m). Les mesures historiques effectuées sont accessibles via ce [lien](#). Les données du point sont également disponibles en temps réel via le visualiseur Hub'Eau ([lien](#)) après avoir zoomé puis cliqué sur le rond orange de Saint-Jacques-de-la-Lande (la profondeur de l'eau au point de mesure sélectionné s'affiche).

La profondeur de la surface de la nappe (niveau piézométrique) varie selon les saisons : les niveaux sont proches du sol en hiver et plus profonds en été (les niveaux les plus hauts sont habituellement mesurés en mars tandis que les plus bas le sont en septembre). Le cycle annuel de variation des niveaux piézométriques est lié aux périodes pluvieuses ou non. En raison de l'élévation des températures et du développement de la végétation, les pluies qui alimentent les nappes sont faibles d'avril à septembre, et plus importantes d'octobre à mars. A Rennes, Météo-France indique qu'il tombe 691 mm de pluie par an (normales 1991-2020). Le BRGM estime que 33 % de ces pluies sert au cycle de l'eau (ruissellement de l'eau en surface, ou alimentation des nappes par infiltration) ; le reste étant soit évaporé soit transpiré par les plantes.

Ce type de suivi, effectué sur 52 ouvrages en Bretagne, permet au BRGM d'éditer des bulletins régionaux de situation du niveau des nappes d'eau souterraine. Il s'agit d'une présentation du niveau des nappes, notamment sous la forme de cartes de situation, avec une comparaison statistique (niveau supérieur ou inférieur à la normale) et une indication sur la tendance d'évolution récente (augmentation ou baisse du niveau). Ces bulletins sont accessibles via ce [lien](#).



Figure 29 - Intérieur du piézomètre BRGM et matériels de suivi (source : BRGM)

4. Bibliographie

Bauer H., Mougin B. et Dezayes C. (2011). CINERGY : rapport géologique de fin de sondage. Rapport intermédiaire BRGM/RP-59528-FR, 137 p., fig., tabl., 8 ann., 1 CD.

Bauer, H., Bessin, P., Saint-Marc, P., Châteauneuf, J. J., Bourdillon, C., Wyns, R. and Guillocheau, F. (2016). The Cenozoic history of the Armorican Massif: New insights from the deep CDB1 borehole (Rennes Basin, France). *Comptes Rendus. Géoscience*, 348(5), 387-397.

Brunel L. (1971) – Etude hydrogéologique du bassin de Bruz – Chartres, Rapport BRGM, 71-SGN-003-BPL, 125 p.

Chantraine J., Autran A. et Cavelier C. (2003) - Carte géologique de la France à 1/1 000 000. 6^{ème} édition révisée, BRGM, Orléans.

Cluseau R. (1958) – Etude par sondages électriques, résistivité et magnétisme des anomalies gravimétriques légères en Bretagne. *Travaux du BRGM*, A1311 (11).

Durand S. (1960) – Le Tertiaire de Bretagne. Etude stratigraphique, sédimentologique et tectonique. Thèse d'Etat, *Mém. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, 12, 389 p.

Estéoule-Choux J. (1967) – Contribution à l'étude des argiles du Massif Armoricaire. Argiles des altérations et argiles des bassins sédimentaires tertiaires. 1^{re} thèse, Univ. Rennes, 319 p.

Gendry D. (2020) – 100 ans de géologie au sein de la Société géologique et minéralogique de Bretagne. *Bulletin de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne*, 2020, 1920-2020 le centenaire, n°18, pp.3-68. hal-02904343

Jaeger J.-L. (1959) – Etude de l'anomalie gravimétrique légère située au Sud-Ouest de Rennes (Ille-et-Vilaine). Rapport BRGM, inédit.

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

Ollivier-Pierre M.-F. (1980) – Etude palynologique (spores et pollens) de gisements paléogènes du Massif Armoricaire. *Stratigraphie et paléogéographie. Mém. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, 25, 239 p.

Thomas E. (1999). Evolution cénozoïque d'un domaine de socle : Le Massif armoricaire - Apport de la cartographie des formations superficielles, vol. 1 & 2, Université de Rennes 1, 147 p.

Trautmann F. (1994). Carte géologique France (1/50 000), feuille de Janzé (353). Orléans : BRGM. Notice explicative par F. Trautmann, J.F. Becq-Giraudon, A. Carn (1994), 74 p.

Trautmann F., Becq-Giraudon J.F., Carn A. (1994). Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille de Janzé (353). Orléans : BRGM, 74 p. Carte géologique par F. Trautmann (1994).

Trautmann F., Paris F. (2000). Carte géologique France (1/50 000), feuille de Rennes (317). Orléans : BRGM. Notice explicative par Trautmann F., Paris F., Carn A. (2000), 85 p.

Trautmann F., Paris F., Carn A. (1999). Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille de Rennes (317). Orléans : BRGM, 85 p. Carte géologique par Trautmann F., Paris F. (2000).

Vasseur G. (1881). Terrains tertiaires de la France occidentale. Masson, Paris, 432 p.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34

Direction Régionale Bretagne

Atalante Beaulieu
2, rue de Jouanet
35700 RENNES - France
Tél. : 02 99 84 26 70