



Livret-guide Excursion d'hydrogéologie

Basse-Normandie - Du vendredi 2 au dimanche 4 octobre 2015



Organisateurs :

Alexandra LAURENT, Flora LUCASSOU,
Thierry GAILLARD, Charlotte BOURGAULT,
Thierry PAY



Sommaire

1	Avant-propos	4
2	Contexte géologique et hydrogéologique	5
3	Contexte hydrologique	9
3.1	Le réseau hydrométrique	9
3.2	D'importantes ressources en eau souterraine dans le Massif armoricain.....	9
3.3	Des connaissances approfondies en hydrologie au service du développement durable et des approches systémiques en écologie.....	11
4	Arrêts	14
5	Liste des figures	61
6	Bibliographie.....	63
7	Annexes	67
8	Programme et informations pratiques.....	72
8.1	Programme de l'excursion.....	72
8.2	Hébergement.....	74

Liste des arrêts

Arrêt 1	: Marais du Cotentin et du Bessin – Bassin de Sainteny-Marchésieux	14
Arrêt 2	: Pointe du Hoc – le littoral du Bessin et le bassin de l'Aure dans un contexte de changement climatique	25
Arrêt 3	: Stratotype du Bajocien.....	35
Arrêt 4 et Arrêt 5	: Système karstique de l'Aure.....	39
Arrêt 6	: Château de Caen	45
Arrêt 7	: Carrière Mathias	50
Arrêt 8	: Captage de Fontaine Bouillante.....	53
Arrêt 9	: Curiosités géologiques sur la plage d'Omaha Beach	59

Liste des annexes

Annexe 1	: Evolution jurassique du Bassin Parisien	67
Annexe 2	: Les principaux ensembles climatiques de Basse-Normandie	68
Annexe 3	: Cartographie des risques littoraux (DREAL Basse-Normandie)	69
Annexe 4	: Relief de l'unité hydrographique Aure – DREAL Basse-Normandie	70
Annexe 5	: Coupe géologique de la série triasique et jurassique normande	71

1 Avant-propos

L'excursion du Comité Français d'Hydrogéologie se déroule cette année en Basse-Normandie, avec le concours de l'Association des hydrogéologues des Services Publics.



Figure 1 : Localisation des arrêts prévus lors de l'excursion



Figure 2 : Photo du sous-bassin de Marchésieux (Tribehou, Manche, France, 2014), cliché Alexandra LAURENT

2 Contexte géologique et hydrogéologique

La Basse-Normandie doit sa diversité géologique remarquable à sa situation « à cheval » entre deux grands domaines géologiques distincts :

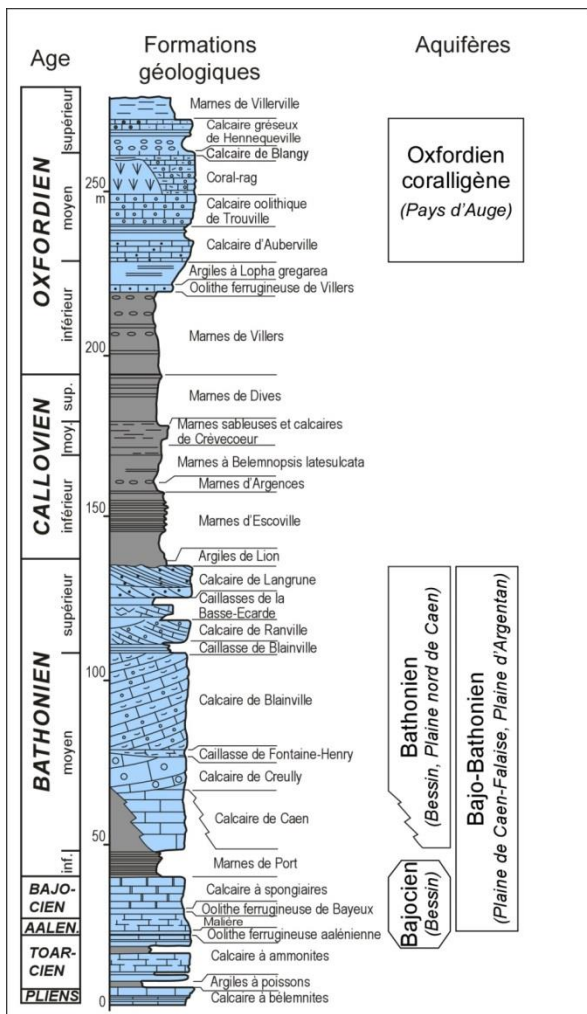
- à l'ouest, le Massif armoricain, composé de terrains plissés précambriens et paléozoïques, et ses paysages vallonnés de bocage ;
- A l'est, la bordure orientale du vaste bassin Parisien, composée de terrains carbonatés (calcaires et marnes) jurassiques et crétacés parfois recouverts de formations cénozoïques argileuses (argiles à silex), et ses paysages ouverts de plaines (Caen, Argentan) et plateaux (Pays d'Auge).

La diversité géologique de la Basse-Normandie témoigne d'une histoire géologique longue de près de deux milliards d'années dont les premiers témoins sont visibles très localement au cap de la Hague. Aujourd'hui métamorphisés sous forme de gneiss, il s'agit d'anciens granites intrusifs dans des formations volcaniques et sédimentaires, vestiges d'une très ancienne chaîne de montagne, la chaîne icartienne.

Les terrains anciens du Massif armoricain s'enfoncent vers l'est sous la couverture sédimentaire jurassique et crétacée de la bordure ouest du bassin de Paris.

Le cycle de dépôt paléozoïque démarre par les poudingues de Rocreux et se poursuit par une épaisse série schisteuse (Cambrien, Ordovicien, Silurien) dans la zone bocaine, qui se déposent en discordance sur le sous-bassement cadomien (discordance cadomienne). Cet ensemble est de nouveau plissé par l'orogénèse hercynienne.

Au Mésozoïque, la mer triasique vient recouvrir localement la Basse-Normandie avec des séquences continentales de sables quartziques et d'argiles bariolées.



Au Jurassique inférieur, la transgression de la mer jurassique se fait sur une surface irrégulière où subsistent des paléoreliefs armés par les barres gréseuses des synclinaux paléozoïques, dont plusieurs témoins sont connus au sud de Caen, dans le secteur de Villers-Bocage, au nord d'Argentan ou encore dans le Perche.

Au cours du Jurassique, ont lieu plusieurs phases de transgression conduisant à la succession d'ensembles marins calcaires (Hettangien-Sinemurien, Aalénien-Bathonien, Oxfordien) et marneux (Pliensbachien-Toarcien, Callovien-Oxfordien).

A la fin du Jurassique, la mer se retire et durant une grande partie du Crétacé inférieur, la Basse-Normandie est un domaine continental émergé soumis à l'érosion et l'altération des carbonates jurassiques. Les terrains crayeux armant les plateaux du pays d'Auge témoignent du retour de la mer à la fin du Crétacé inférieur (Aptien) et durant la majeure partie du Crétacé supérieur.

Figure 3 : Les formations géologiques du Jurassique inférieur à supérieur formant la couverture sédimentaire, avec localisation des principaux aquifères (d'après Dugué et al., 1998 modifié).

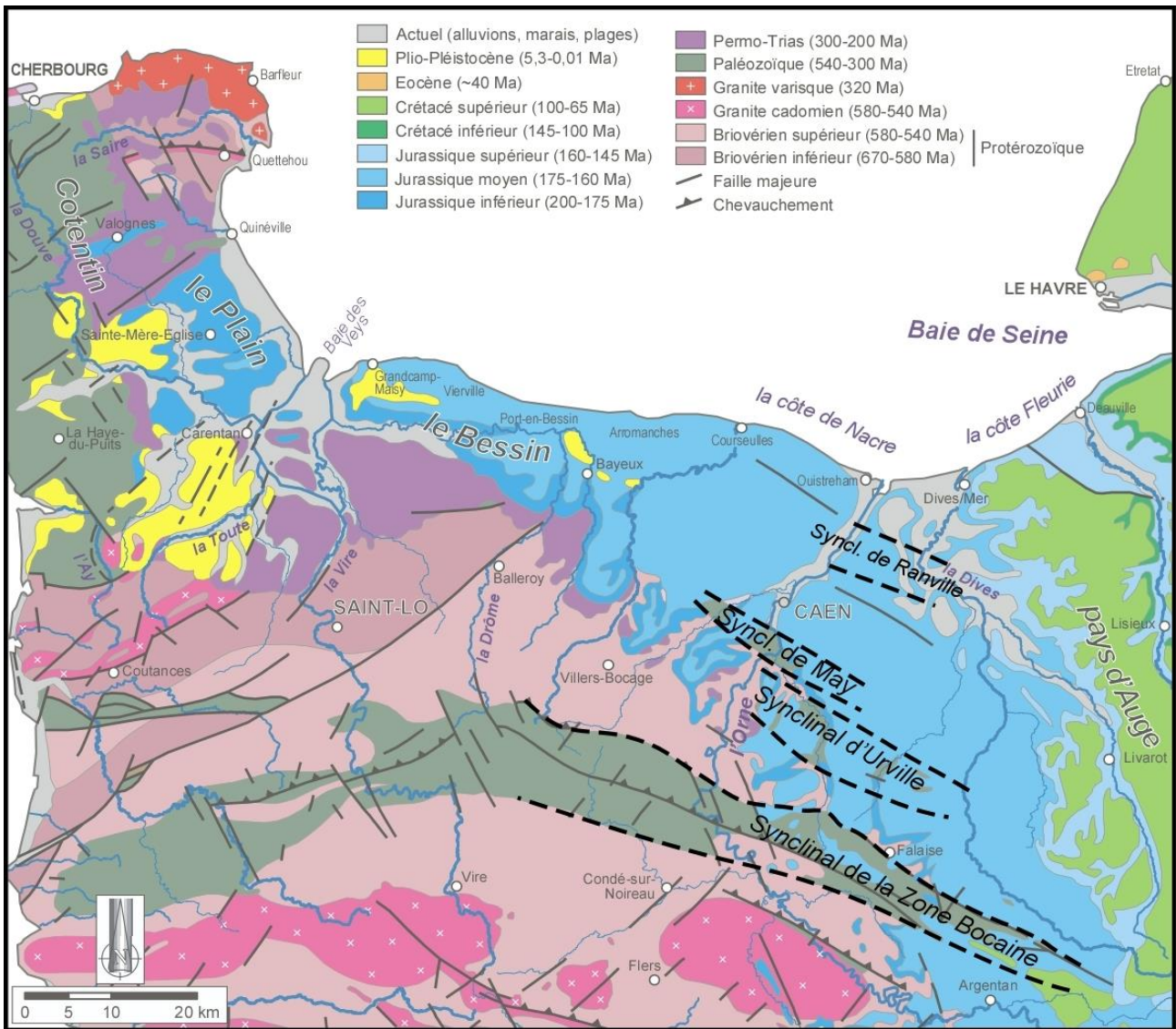


Figure 4 : Localisation des synclinaux paléozoïques reconnus en bordure et sous la couverture jurassique de la plaine de Caen-Argentan. Le synclinal de Ranville n'est connu que d'après les sondages de reconnaissance minière (Couëffé, 2014)

La Basse Normandie est donc toute désignée pour observer des aquifères de socle, des aquifères continus dans les sables triasiques ou cénozoïques, des aquifères discontinus fissurés voire même karstiques dans la couverture jurassique et crétacée. Deux jours ne suffiront pas à découvrir cette diversité mais permettront de visualiser une partie de ce riche patrimoine géologique et hydrogéologique.

Les principaux aquifères bas-normands

Dans la zone bocaine, la série des calcaires cambriens constitue des aquifères intéressants. Les calcaires sont exploités à Pierrepont, à Combrai, à Saint-Martin-de-Sallen et à Pontécoulant. Les forages localisés dans des pièges structuraux plissés et faillés exploitent ce réservoir qui peut présenter des indices de karstification (entre 50 et 100 m³/h).

Les formations triasiques constituent des aquifères lenticulaires d'extensions limitées, et sont elles aussi exploitées à des débits de quelques dizaines de mètres cubes par heures. Les eaux sont très chargées en fer et les forages peuvent se colmater rapidement.

Enfin, l'aquifère du Dogger est le plus étendu et largement exploité dans la région. Les calcaires du Dogger plongent progressivement vers sur le Sud-Est, sous les marnes callovo-oxfordiennes. L'aquifère devient captif et bénéficie alors ainsi d'une protection naturelle. Dans la plaine de Caen, la série jurassique est classiquement divisée en deux aquifères.

- L'aquifère du Bajocien est développé dans la fissuration des calcaires avec une karstification plus importante sous les vallées. Libre dans la région de Bayeux et au sud-ouest de Caen dans la vallée de l'Orne, ailleurs, il est captif sous les marnes de Port-en-Bessin. L'aquifère est plus productif dans sa partie captive que dans sa partie libre. Le karst de l'Aure s'inscrit dans ce réservoir.
- L'aquifère du Bathonien est composé à sa partie inférieure par des calcaires argileux situés à la base de la Pierre de Caen, qui repose sur un mur constitué par la formation des Bancs Bleus. Les formations surincombantes (calcaire de Creully, calcaire de Blainville, calcaire de Ranville et de Langrune) donnent plus de puissance au réservoir vers le nord. Ces « calcaires » sont séparés par des séries plus marneuses appelées « caillasses » qui permettent le développement de contextes dénitrifiant et donnent à l'aquifère bathonien un caractère multicouche. Il devient captif sous les marnes callovo-oxfordiennes dans l'est de la région. Dans le Calvados, les meilleurs débits atteignent 300 m³/h. Dans l'Orne, les aquifères sont plus modestes en superficie et puissance, bien que quelques ouvrages permettent de pomper à des débits de 100 m³/h. L'aquifère du Bathonien est plus sensible aux pollutions d'origine agricole dans sa partie supérieure.

L'aquifère des calcaires oxfordiens repose sur les marnes callovo-oxfordiennes. Dans la vallée de la Touques et de l'Orbiquet, la nappe est libre sous les alluvions. Elle devient captive sous les marnes du Jurassique supérieur ou les argiles albiennes. Il est localement très producteur à la faveur du développement de son faciès coralligène (Lisieux, Pierrefitte en Auge, Saint Hymer). Sa productivité peut alors atteindre 100 m³/h.

Le réservoir aquifère du Cénomani est constitué de craie glauconieuse, supporté par une formation imperméable argilo-glauconieuse (Albien à Cénomani). La nappe circule dans un milieu mixte, poreux, fissuré et parfois karstique, globalement localisé sur le plateau du pays d'Auge. Le niveau piézométrique varie selon des cycles saisonniers mais aussi pluriannuels, typique d'un aquifère crayeux à forte capacité d'emmagasinement. Cet aquifère donne naissance à de très nombreuses sources alimentant le chevelu des cours d'eau du pays d'Auge (Rive droite de la Dives et Touques). Les sources les plus productives ont été captées à la fin du XIX^{ème} siècle pour l'alimentation en eau potable des principaux centres urbains et de la côte (Lisieux, Honfleur, Deauville, Cabourg, ...). La source de l'Orbiquet constitue une résurgence remarquable au débit moyen est de 450 litres par seconde (4^{ème} source vauclusienne de France).

L'hydrogéologie de la Basse-Normandie a d'abord été étudiée par les géologues normands. EUDES-DESLONGCHAMPS J.-A. en 1838 s'intéresse ainsi aux phénomènes des marées sur les niveaux des puits à Ouistreham. BIGOT A. a, quant à lui, suivi de nombreux forages d'eau et a décrit les problèmes d'arrivées d'eau dans les mines de la zone bocaine (1935). Il propose une première synthèse dans son « Hydrogéologie du Calvados » en 1950. Les potentialités aquifères du Jurassique conduisent plus tard les hydrogéologues et les géologues à étudier la plaine de Caen et le Bessin. JOURNAUX, PAREYN et ROUX esquissent un premier bilan avec une carte piézométrique en 1965, puis DASSIBAT, PASCAUD et ROUX proposent une synthèse en 1980. Cette synthèse a permis la réalisation d'un atlas hydrogéologique du Calvados (BRGM-CG14 1988-révisé en 1991).

En 2007, un atlas hydrogéologique numérique du Calvados a été réalisé, il se décline en trois volets :

- Un volet cartographique (Rapport BRGM/RP-55670-FR)
- Un volet quantitatif avec modélisation hydrologique globale des bassins versants de la Seulles, de la Mue, de la Dives amont (Rapport BRGM/RP-55672-FR)
- Un volet relatif aux aquifères de socle du Calvados avec une étude des débits de forage et une cartographie de l'épaisseur des altérites (Rapport BRGM/RP-55671-FR)

Le volet cartographique de l'atlas a consisté en une synthèse départementale des données géologiques et hydrogéologiques, permettant l'élaboration de cartes piézométriques pour les aquifères du Cénomanién, Bathonien et Bajocien en période de moyennes eaux, basses eaux et hautes eaux, mais aussi des cartes de l'épaisseur et du toit des formations géologiques.

Dans le cadre de la révision des Zones de Répartition des Eaux, le BRGM a été sollicité par l'AESN et les services de l'Etat pour la réalisation d'un modèle hydrogéologique sur les secteurs de la plaine de Caen, du Bessin et du bassin de la Dives. Un modèle géologique correspondant au secteur d'étude a préalablement été construit. Il est composé de 11 couches individualisées par rapport à leurs caractéristiques hydrogéologiques. La composante hydrogéologique du modèle a ensuite été apportée grâce au logiciel Marthe. Les calculs reposent sur des mailles carrées de 1 km de côté sur la majeure partie de son extension excepté dans la partie aval de l'Orne et de la Dives où un maillage gigogne de 200 m de côté a été constitué pour plus de finesse.

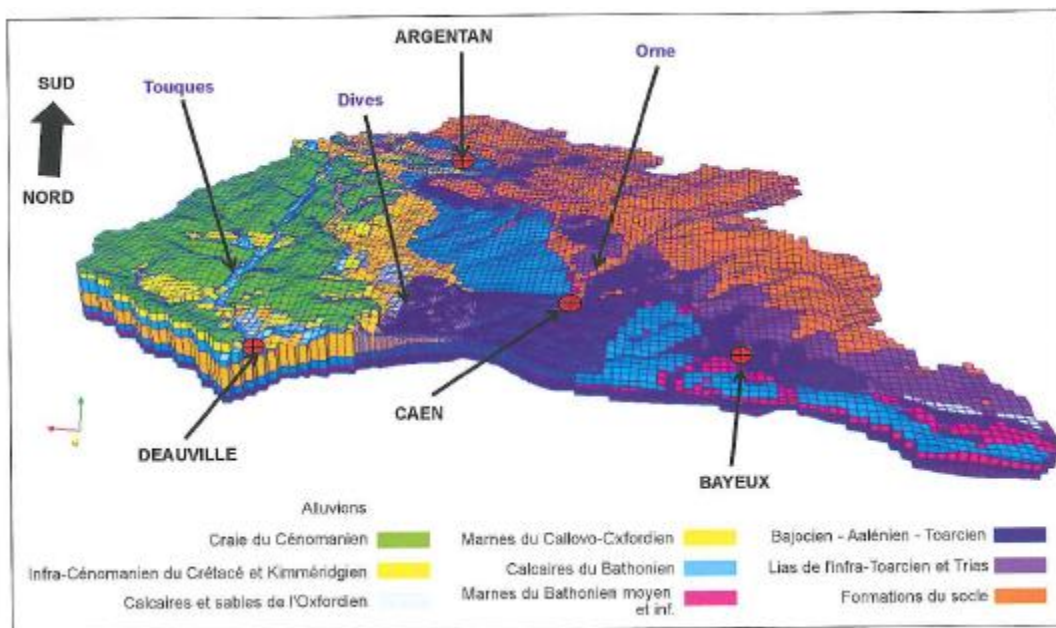


Figure 5 : Visualisation 3D, vers le sud, du modèle hydrogéologique des fleuves côtiers du Calvados (Wuilleumier et al., 2014)

3 Contexte hydrologique

Auteurs – Frédéric Gresselin (DREAL Basse-Normandie), Charlotte BOURGAULT (Agence de l'eau Seine-Normandie)

La Basse-Normandie : un territoire complexe, des hydrosystèmes d'exception.

La synthèse ci-dessous a été réalisée à partir des deux documents suivants :

- le profil environnemental régional (DREAL, 2015),
- l'hydrologie de la Basse-Normandie (DREAL et AESN, 2015).

3.1 Le réseau hydrométrique

Les données du réseau hydrométrique sont produites en continu. Elles sont publiées en temps réel sur le site internet de la DREAL (<http://carmen.application.developpement-durable.gouv.fr/8/hydrologie.map>) et, après validation, stockées dans la banque de données nationale HYDRO. Celle-ci est accessible en ligne (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>).

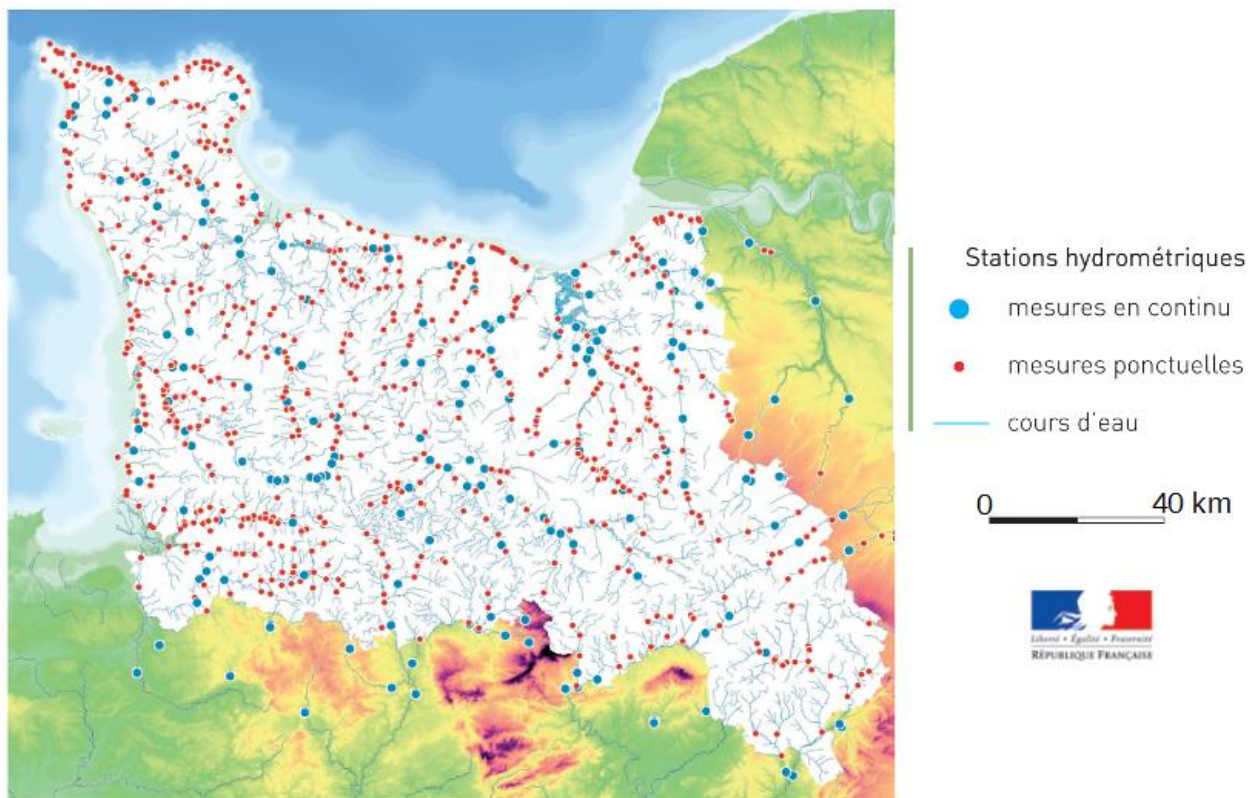


Figure 6 : Le réseau hydrométrique de la DREAL de la Basse-Normandie

3.2 D'importantes ressources en eau souterraine dans le Massif armoricain

Contrairement aux idées reçues, les réserves en eau souterraine du Massif armoricain sont suffisamment abondantes pour garantir à la plupart des rivières de l'Ouest de la région des débits relativement élevés en été. En étiage, c'est la Saire qui dispose du débit spécifique le plus élevé de la région, Bassin parisien inclus. Il s'agit pourtant d'un petit fleuve armoricain, certes pour partie alimenté par les nappes perchées du Trias, mais qui tient la comparaison avec la Touques et son exceptionnelle nappe de la craie.

Les rivières qui drainent les substrats granodioritiques du Virois ont elles aussi un débit spécifique élevé en étiage. Celui-ci est comparable voire supérieur à celui des rivières alimentées par la puissante nappe des calcaires bathoniens.

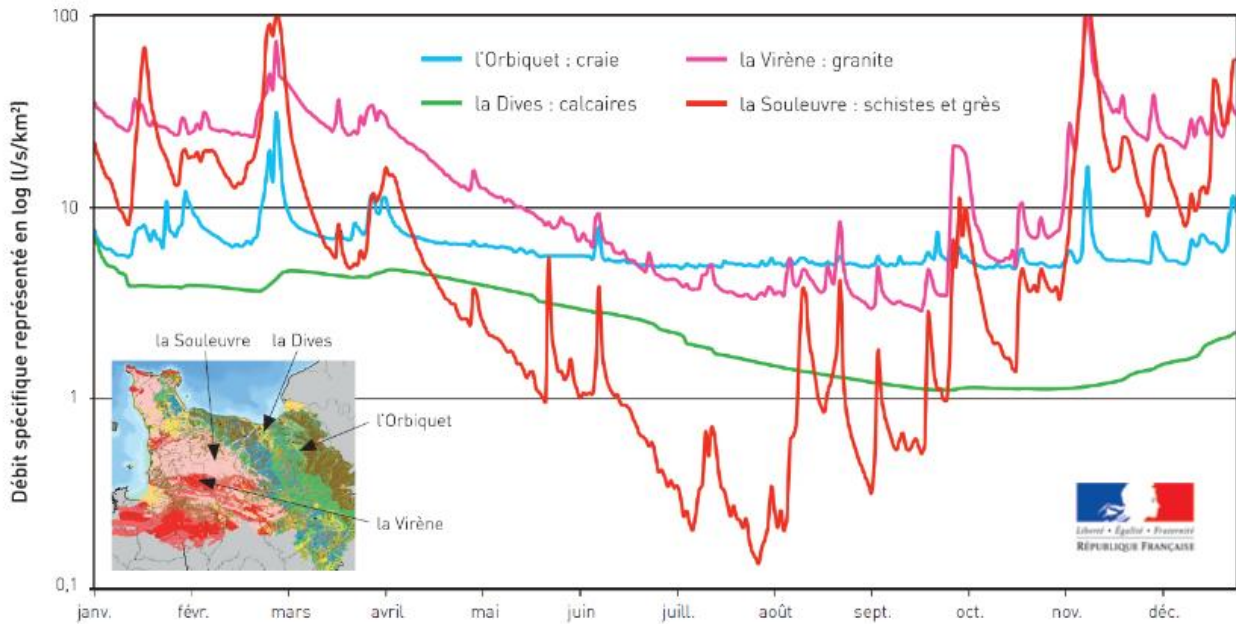


Figure 7 : Les grands types de fonctionnement hydrologique rencontrés en Basse-Normandie – DREAL Basse-Normandie

Néanmoins, quelques cours d'eau des bocages armoricains accusent des tarissements prononcés. Ils coulent en général sur les schistes et grès du Paléozoïque. C'est le cas en Zone bocaine, où les pentes fortes favorisent le drainage des aquifères, ou le long de la façade ouest du département de la Manche. Toutefois, dans le Nord-Cotentin, les schistes et grès paléozoïques sont très aquifères. Plus que le substrat lui-même, ce sont les formations superficielles qui le recouvrent qui paraissent jouer ici un rôle déterminant dans l'alimentation en eau souterraine des cours d'eau de la région de Cherbourg-Octeville. Les altérites du socle et les colluvions de pente sont en effet particulièrement abondants dans le Nord-Cotentin.

Il n'y a pas cependant que dans le Nord-Cotentin où la présence des formations superficielles semble jouer un rôle clef dans l'hydrologie des cours d'eau en été. C'est le cas également dans le Sud Manche où les arènes granitiques et les loess sont abondants, mais aussi dans la région de Saint-Lô en présence, entre autres, des altérites des schistes du Briovérien inférieur.

Dans le Bassin parisien, les formations de pente paraissent également jouer un rôle non négligeable dans le soutien d'étiage estival des cours d'eau drainant la cuesta du Pays d'Auge, notamment en présence de glauconie.

L'importance des réserves en eau souterraine dans le bilan hydrologique des rivières de Basse-Normandie est démontré par ailleurs par les séparations d'écoulement menées sur les hydrogrammes des stations du réseau hydrométrique permanent (près de 2000 années station ont été étudiées). Cette technique, qui permet de séparer dans l'écoulement d'une rivière la quantité d'eau produite par ruissellement de celle produite par les nappes, démontre que ces dernières jouent un rôle prépondérant dans l'écoulement des rivières régionales, sauf en Zone bocaine.

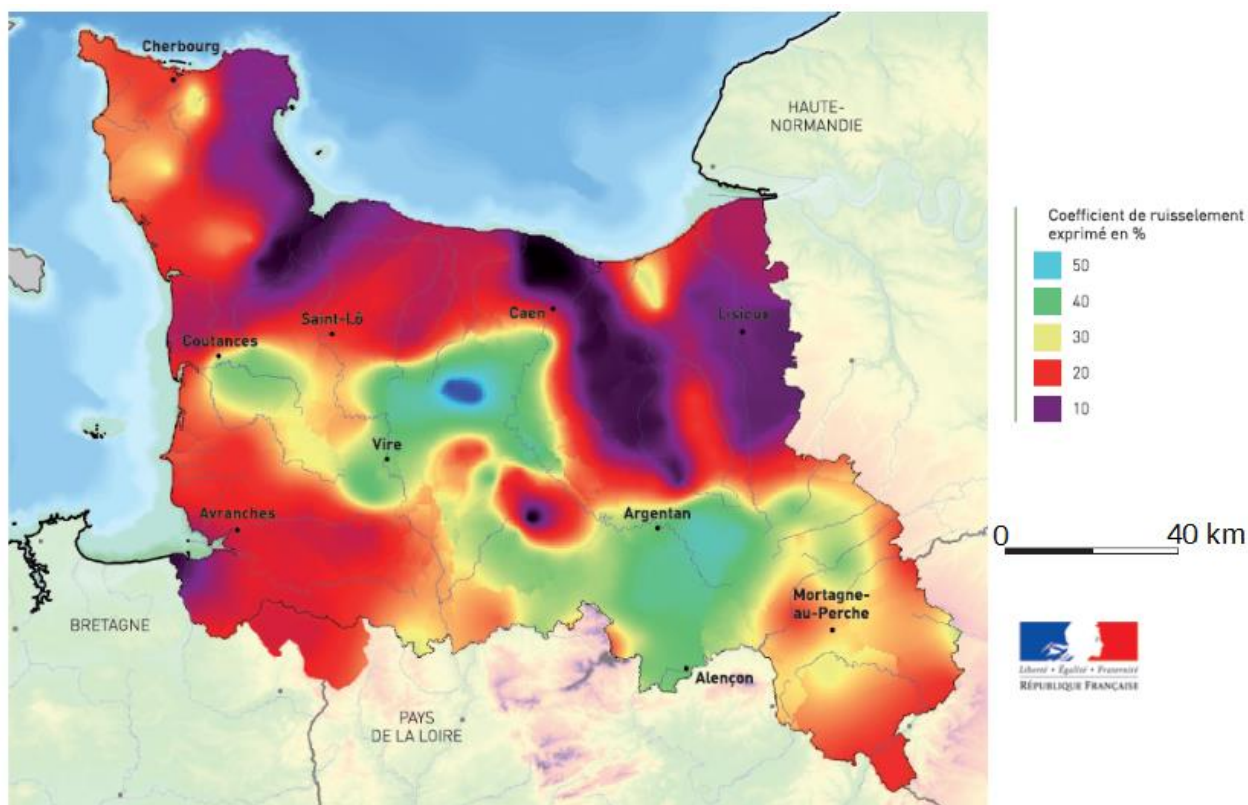


Figure 8 : Coefficient de ruissellement moyen interannuel des bassins versants de Basse-Normandie

3.3 Des connaissances approfondies en hydrologie au service du développement durable et des approches systémiques en écologie

Les efforts produits ces dernières décennies par les services publics pour acquérir des connaissances fondamentales sur le fonctionnement des hydrosystèmes bas-normands portent leurs fruits. Il est désormais possible de cerner avec une précision opérationnelle les volumes disponibles par sous-bassin versant en vue d'un développement économique raisonné des collectivités.

Ces connaissances permettent par ailleurs, à travers des approches systémiques, de mieux percevoir les relations souvent méconnues qui relient les hydrosystèmes entre eux. La DREAL a notamment travaillé ces dernières années à la caractérisation des débits d'étiage transitant dans les zones humides depuis les nappes alluviales et leurs nappes d'accompagnement.

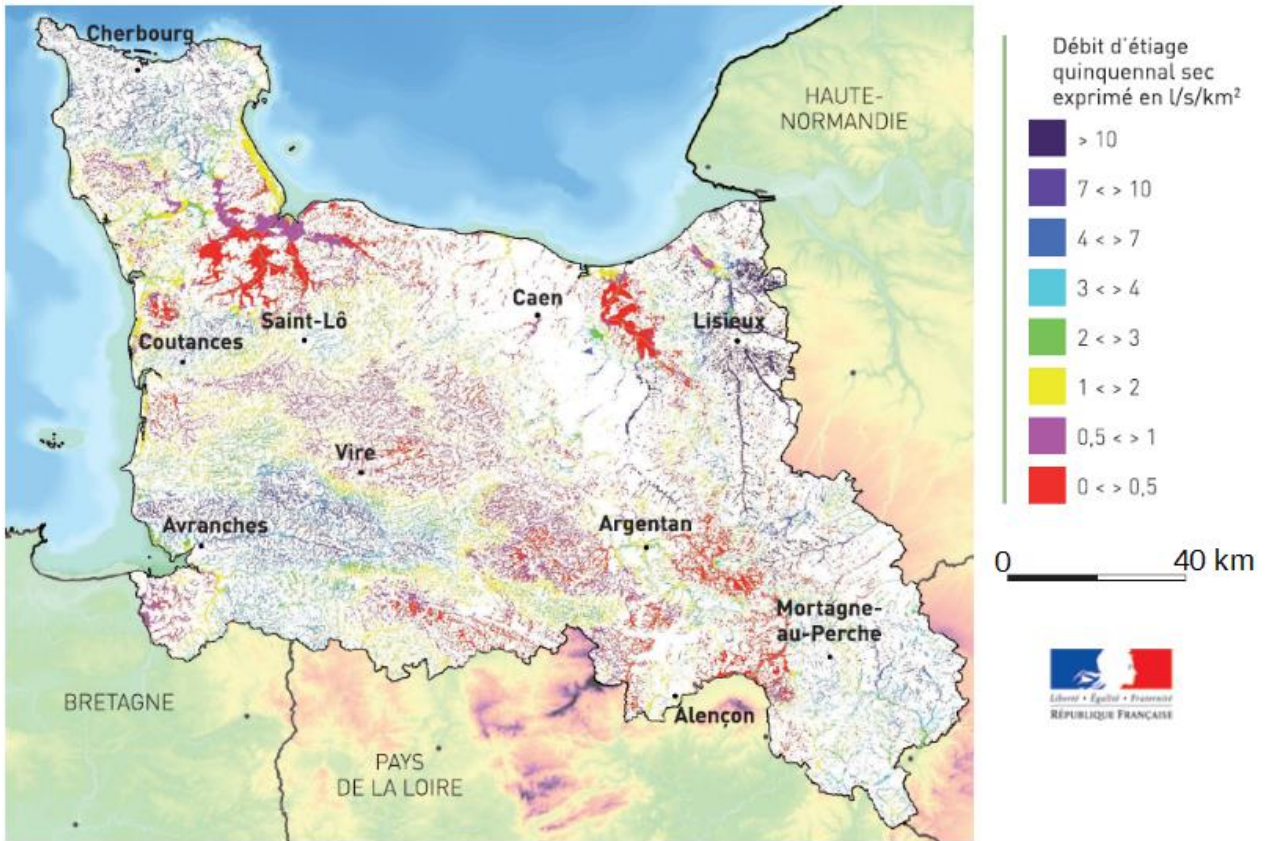
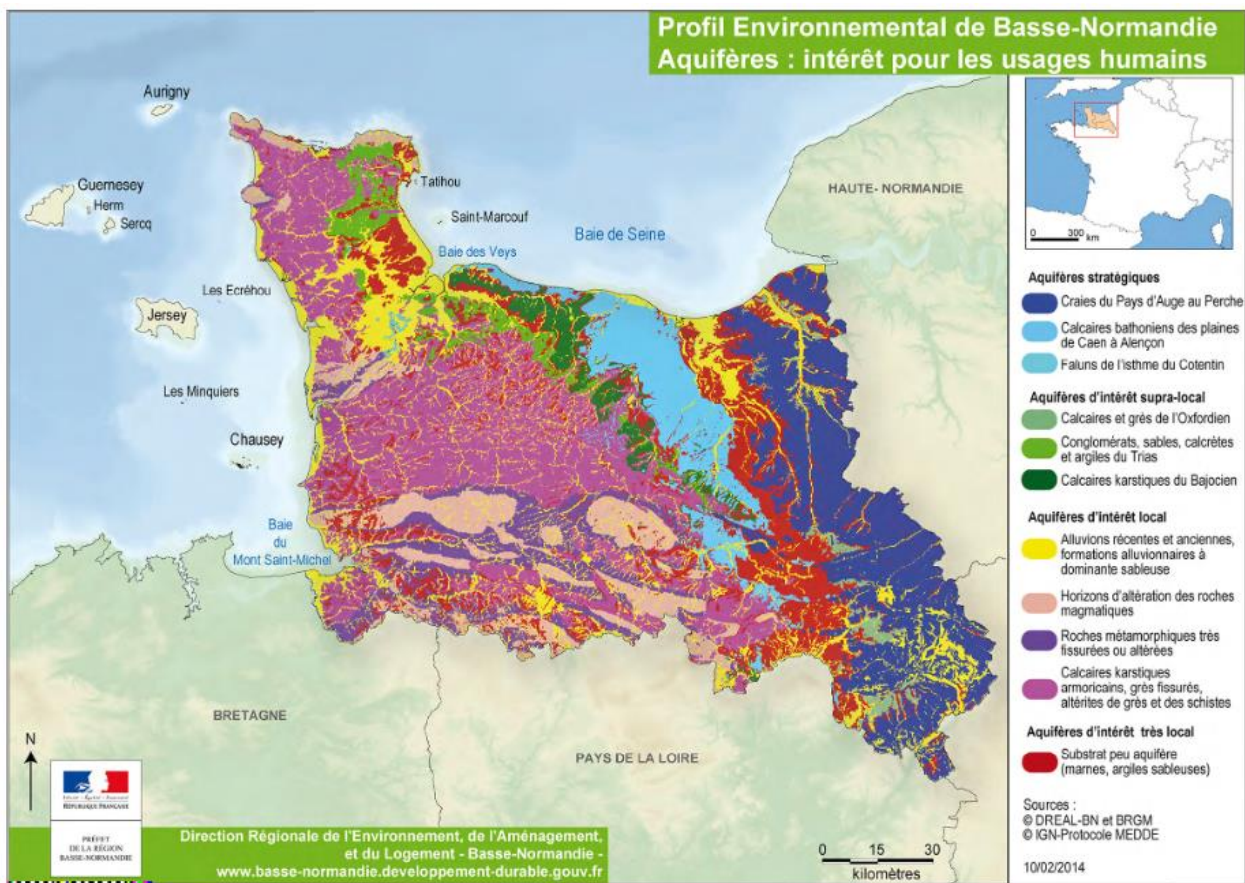
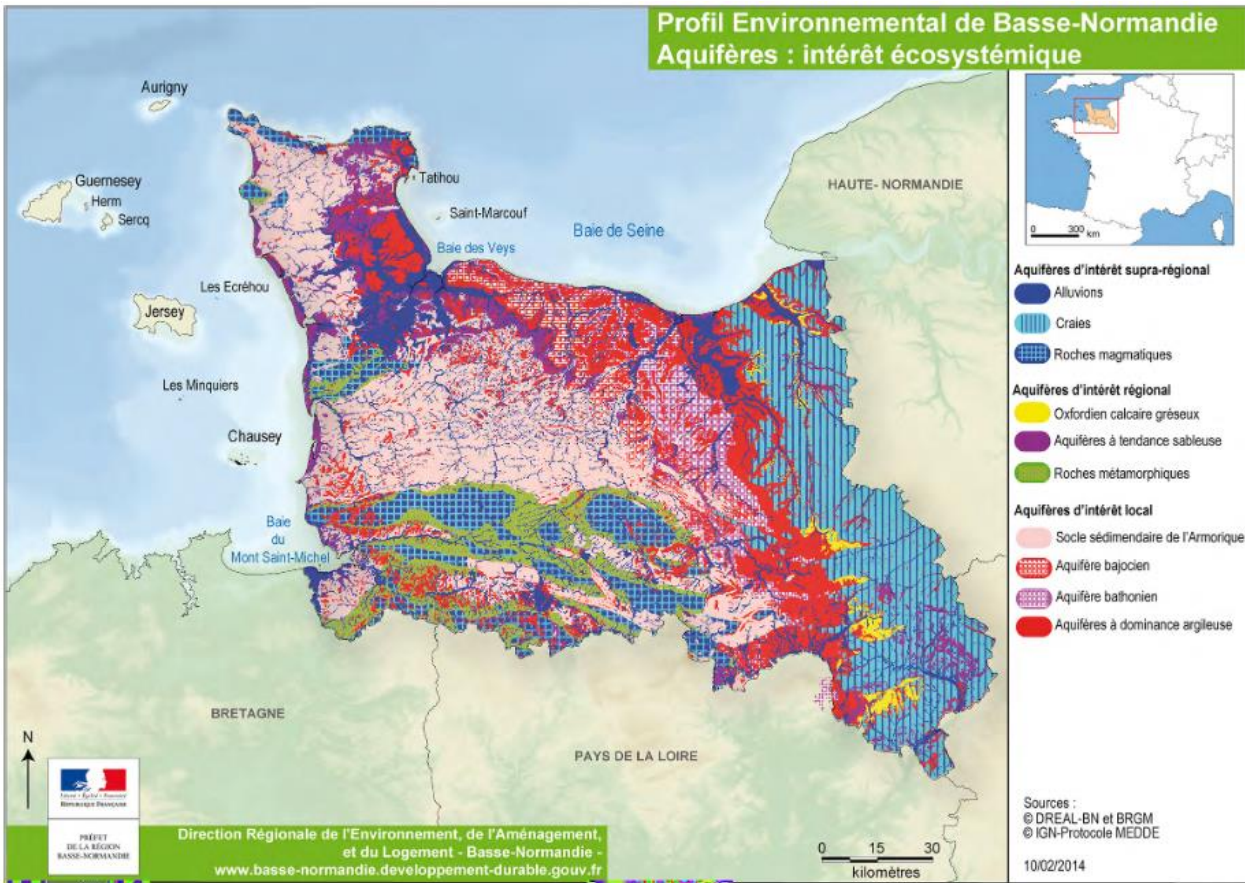


Figure 9 : La productivité hydrologique des zones humides de Basse-Normandie en étéage sec – DREAL Basse-Normandie

Ces approches systémiques où les aquifères ne sont plus de simples réservoirs dédiés à l'alimentation en eau potable des populations ou au développement économique locale change l'angle d'approche de l'hydrogéologie. Des cartographies différentes selon que les aquifères s'avèrent stratégiques pour l'homme ou la nature deviennent désormais possibles.



4 Arrêts

Arrêt 1 : Marais du Cotentin et du Bessin – Bassin de Sainteny-Marchésieux

Intervenants (et rédaction)	Maurice FRESLON, Hydrogéologue, DDTM 50 Mickaël HAMEL, Hydrogéologue, Syndicat d'eau de la Manche Jonathan THIERRY-COLLET, Chargé de mission au Parc Naturel Régional des Marais du Cotentin et du Bessin Alexandra LAURENT, Hydrogéologue, BRGM
Heure du rendez-vous	14h
Lieu de rendez-vous	Le mémorial à Graignes (devant le cimetière)
Accès au site	Depuis la RN13, prendre la sortie Saint-Lô (N174) Ensuite sortie Saint Jean de Daye, puis Graignes et enfin le mémorial

Dans la zone centrale de l'isthme du Cotentin (département de la Manche), les formations néogènes et quaternaires ont été mises en évidence dans quatre bassins s'étendant sur 10 à 130 km², avec des épaisseurs comprises entre 15 et 150 m. Ces quatre bassins d'effondrement, à remplissage sédimentaire tertiaire et quaternaire, ont été étudiés depuis plus d'une trentaine d'années (Figure 10). Ils sont insérés dans l'extrémité nord-est du Massif armoricain, au contact avec les formations jurassiques et triasiques de la bordure ouest du Bassin parisien et sont issus d'une sédimentation complexe couplée à une tectonique récente ayant repris les accidents cadomo-hercyniens du socle armoricain. Leur potentiel hydrogéologique est considérable comparé à celui des formations du socle armoricain qui les jouxte.

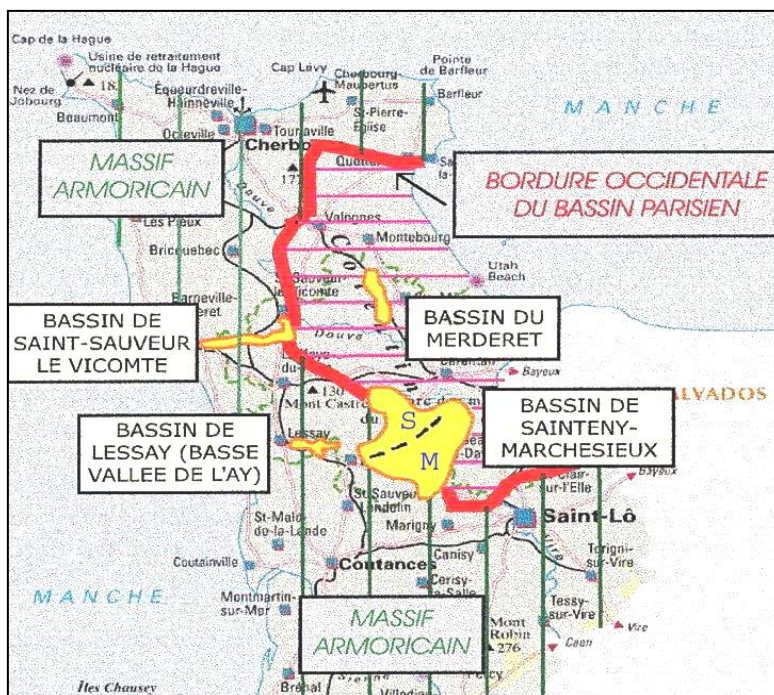


Figure 10 : Situation géographique et géologique des bassins de l'isthme du Cotentin

1- Historique des investigations**Premiers travaux**

Après la mise en œuvre progressive de l'adduction d'eau potable dans le département de la Manche dans les années 50-60, les besoins liés à la modernisation de l'agriculture et à la demande sans cesse croissante, notamment en terme de qualité, ont conduit les responsables de l'eau à faire appel à de nouvelles ressources fiables, à la fois en quantité et en qualité.

Les sécheresses de 1976 et de 1984 ont montré la précarité des ressources en eau dans le centre Manche et le Nord Cotentin. On commençait à parler de transferts d'eau.

Des programmes de forages, dont la mise en œuvre fut assurée par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF), en association avec C. Pareyn, ont débuté dès 1977 et se sont intensifiés à partir de 1980.

1980 – 1990	Premiers forages de recherches hydrogéologiques (Pareyn, 1980 et D.D.A.F., 2008) <ul style="list-style-type: none"> - Premier programme d'exploration (1980) : 14 sondages mécaniques - Programmes de recherche hydrogéologiques (1986-1988) : deux campagnes de forages de reconnaissance et de pompages d'essai dans les sous-bassins de Marchésieux, puis de Sainteny - 1988 : Création du SYMPEC (Syndicat mixte de production d'eau du centre Manche) et réalisation de 5 forages d'exploitation en 1990
-------------	--

Approche géologique

1991	Recherches stratigraphiques. (Garcin et al., 1991, 1993, 1997), Réalisation d'un forage par le BRGM sur Marchésieux, intégralement carotté dans les formations plio-quatérnaires jusqu'à 159,3 m de profondeur.
1997	Lever de la carte géologique 1/50000, feuille de Carentan (117) (Baize S. et al., 1997)
2000	Révision stratigraphique de nombreux forages, révisions des séries cénozoïques (Dugué et al., 2000)
2005	Révision des séries cénozoïques (Dugué et al., 2005)
2009	Evolution cénozoïque sédimentaire (Dugué et al. 2009)

Approche hydrogéologique

1996	Etude de faisabilité d'un modèle numérique, élaboration du modèle conceptuel du bassin de Sainteny-Marchésieux - ANTEA
2001-2002	Synthèse des données – Modélisation mathématique du bassin de Sainteny-Marchésieux et simulations de pompage – SOGREAH
2006	Thèse Auterives (Université de Rennes), Influence des flux d'eau souterraine entre une zone humide superficielle et un aquifère profond sur le fonctionnement hydrochimique des tourbières : Exemple des marais du Cotentin, Basse-Normandie.
2008	Synthèse hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux réalisée par la DDAF
2012	Thèse De Ridder (Université de Rennes), Processus biochimiques d'une tourbière soumise à des fluctuations d'eau
2014	Réactualisation du modèle mathématique de 2001 par le bureau « Terre et Habitat »
2012- (en cours)	Etude BRGM – Acquisition de données compréhension du fonctionnement hydrogéologique – Investigations géophysiques

Synthèse des dernières recherches et études

Compte tenu de la très faible utilisation du sous-bassin de Marchésieux, de sa superficie importante avec la présence de nombreuses zones humides, des connaissances plus limitées par rapport à celles relatives au sous-bassin de Sainteny, des besoins potentiels en eau potable qui se sont exprimés dans le centre Manche, une évaluation précise des capacités de pompage du bassin ainsi qu'une localisation des sites les plus favorables aux prélèvements, tenant compte de tous les aspects environnementaux, devenait indispensable.

Une synthèse hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux (recensement des diverses prospections, forages, fonctionnement hydrogéologique, zones connues et peu connues,...) a été réalisée par la DDAF en 2008, avec propositions d'études et travaux complémentaires pour amélioration des connaissances.

Après recherche des financements et nouvelles discussions sur le programme d'investigations, l'étude proprement dite des potentialités aquifères du sous-bassin de Marchésieux démarra en 2012. Pilotée par le BRGM et associant l'agence de l'eau, le conseil départemental, la DDTM, la DREAL, le Sympec, les universités de Caen et Rennes, cette étude d'envergure s'est déroulée en plusieurs phases, avec notamment l'instrumentation des zones humides et la mise en œuvre de prospections géophysiques variées (panneaux électriques, sismique réflexion sur de longs profils, gravimétrie, RMP) qui ont permis d'avoir une idée beaucoup plus précise sur le remplissage sédimentaire, ainsi que sur la forme du bassin, avec notamment un appendice profond dans l'extrême partie sud et une faille SO-NE séparant les 2 sous-bassins beaucoup plus discrète que ce qui était admis auparavant. Cinq nouveaux forages de reconnaissance viennent d'être réalisés et les pompages d'essai sont en cours. Les résultats complets de cette étude seront disponibles au premier semestre 2016.

Par ailleurs, de nombreuses autres études ont été réalisées sur ce bassin. On citera les travaux menés en 2005-2007 au sein du PNR des marais du Cotentin sur les relations « eaux souterraines – eaux de surface – tourbières » (Ch. Auterives, Université de Rennes) au SO du bassin de Sainteny qui ont montré qu'en périodes de hautes eaux, le niveau piézométrique de la nappe profonde est supérieur à celui de la nappe superficielle des tourbières (flux verticaux). Lors de la décrue de l'aquifère, le flux s'inverse avec une alimentation de la nappe des sables par la nappe des tourbes, ce phénomène pouvant s'accroître localement autour des forages. Toutefois, une réalimentation de la nappe profonde par la rivière voisine maintient un niveau suffisant pour éviter un assèchement de la tourbe ; en direction opposée à la rivière (Holerotte), cette alimentation n'est plus possible.

Cette étude s'est poursuivie de 2008 à 2011 par une nouvelle thèse engagée au sein de l'université de Rennes (Pr. Luc Aquilina, J. de Ridder) avec la participation des mêmes organismes, afin de tenter de généraliser les résultats obtenus sur l'ensemble du bassin de Sainteny-Marchésieux. L'impact des différentes pressions sur les niveaux d'eau dans le marais a ainsi été appréhendé à partir de méthodes expérimentales et un volet « modélisation de la nappe superficielle » a tenté de distinguer, en fonction des simulations effectuées, la part de chacun des facteurs potentiels (pompages pour l'eau potable, pompage pour l'extraction de tourbe, gestion des niveaux d'eau superficielle, réchauffement climatique) dans les modifications du milieu humide et tourbeux. La part du pompage dans la tourbière de Baupte en aval du bassin ne constitue pas le facteur majeur de ces variations de niveaux. Par ailleurs, ces calculs devront être validés par des observations de terrain (actuellement encore trop peu nombreuses au niveau de la nappe superficielle).

Enfin, la modélisation effectuée pour le compte du Sympec (actualisation du modèle de 2000) a montré à partir de plusieurs simulations, qu'en maintenant les volumes actuels de prélèvements pour l'AEP sur l'ensemble du bassin, les rabattements de nappe étaient de l'ordre d'une cinquantaine de centimètres sur les piézomètres proches de la zone d'exploitation et d'une dizaine de centimètres sur les piézomètres éloignés. La zone d'influence des forages se révèle toutefois plus vaste que celle proposée lors de la modélisation de 2000.

2- Contexte hydrogéologique

Grâce aux nombreuses recherches géologiques et hydrogéologiques, la connaissance des bassins sédimentaires de l'isthme du Cotentin s'est largement étoffée depuis 35 ans. Le bassin de Sainteny-Marchésieux est le plus étendu (135 km² contre 5 à 15 km² pour les trois autres) et le plus productif des quatre bassins sédimentaires de la Manche ; il est aussi le mieux connu. Les autres bassins ont fait l'objet de recherches dans les années 80-90. Le tableau présente le résumé des caractéristiques hydrogéologiques des quatre bassins :

	Sainteny-Marchésieux	Saint-Sauveur-le-Vicomte	Le Merderet	La Basse vallée de l'Ay
Superficie des aquifères (km ²)	135	15	10/15	5
Épaisseur moy de l'aquifère (m)	70 (M), 100 (PP)	50	70	70
Etat de la nappe	Libre à captif	Semi-captif	Libre à semi-captif	Semi-libre à captif
Débit spécifique moy (m ³ /h/m)	200 (M), 30 (PP)	15 à 30	40 à 200	15 à 30
T moy (m ² /s)	0,01 à 0,5	10 ⁻² à 5.10 ⁻³	0,02	0,02
S (emmagasinement)	5.10⁻⁴ à 3.10⁻²	10 ⁻³ à 2.10 ⁻²	10 ⁻³	0,05
Volume de la nappe (m ³)	10⁹	75.10 ⁶	50.10 ⁶	20.10 ⁶
Exploitation actuelle (m ³ /an)	5,5.10⁶	2.10 ⁶	700 000	600 000
Exploitation totale possible (m ³). A confirmer	8 à 10.10⁶	> 3,5.10 ⁶	> 1,6.10 ⁶	2.10 ⁶
Vulnérabilité	Assez faible	Faible	Variable	Assez faible

Figure 11 : Caractéristiques hydrogéologiques des bassins sédimentaires de la Manche (PP : Plio-pleistocène – M : Miocène).

Ce bassin (Figure 10) comprend deux grands ensembles aquifères séparés par un contact anormal de direction NE-SW, relativement discret, notamment dans la partie Sud, , marqué par une zone peu perméable :

- Le sous-bassin néogène de Sainteny au Nord-Ouest, qui renferme la formation la plus aquifère, les faluns blancs miocènes de Bléhou, où la transmissivité est souvent exceptionnelle (0,1 à 0,5 m²/s) ;
- Le sous-bassin plio-pléistocène de Marchésieux au sud-Est, plus étendu (100 km²) et plus profond (socle souvent à -150 m et parfois plus) et où le réservoir principal, constitué essentiellement de sables bioclastiques (grès de Marchésieux et complexe du Boscq d'Aubigny) est surmonté généralement d'épaisses couches argilo-marneuses. Les transmissivités y sont moins fortes (en moyenne 0,01 m²/s).

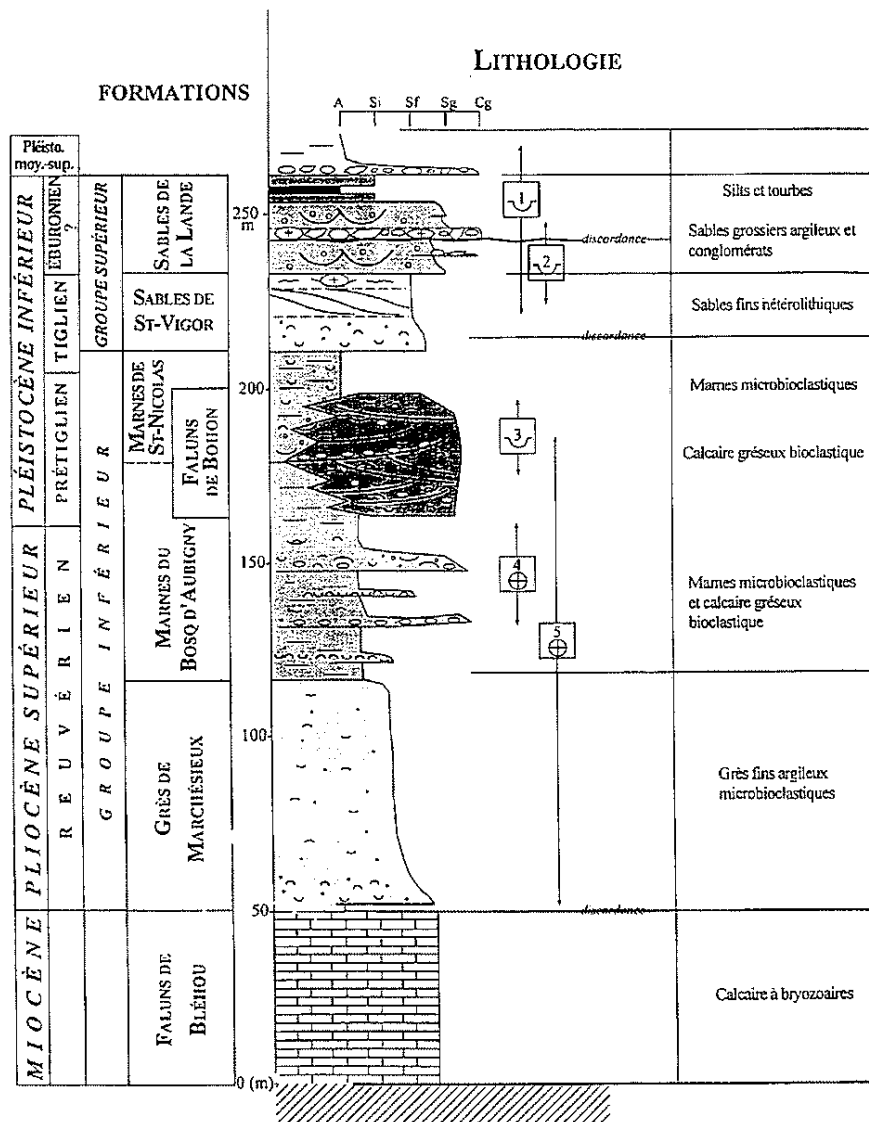


Figure 12 : Colonne lithostratigraphique du secteur Sainteny-Marchésieux (Baize et al., 1997)

Les faluns roux des Bohons du Pléistocène inférieur, autre formation aquifère remarquable, peuvent recouvrir aussi bien les faluns blancs à bryozoaires (nord-est de Sainteny) que les formations du Boscq (nord de Marchésieux). Les coefficients d'emménagement montrent une grande variabilité qui correspond au caractère libre ou captif de la nappe selon les secteurs. La piézométrie de la nappe est complexe avec de grandes irrégularités en ce qui concerne le sens des écoulements et les gradients hydrauliques. Toutefois, cette piézométrie est commandée par les deux rivières principales du bassin, la Sèves à l'ouest (sous-bassin de Sainteny) et la Taute à l'est (sous-bassin de Marchésieux) séparées par un dôme piézométrique. Plus de 100 communes y sont maintenant raccordées et ce nombre est appelé à croître dans les prochaines années.

La qualité de l'eau est très satisfaisante, on observe cependant une légère tendance à l'augmentation des nitrates et la présence, assez faible toutefois, de triazines. Une politique de gestion et de protection s'est développée dans le bassin depuis plus de vingt ans (suivi piézométrique, périmètres, conseil agronomique, remises en herbe, plan d'actions depuis 2012 sur l'aire d'alimentation des forages d'exploitation du Sympec et du SIAEP de Sainteny, classés prioritaires dans le SDAGE).

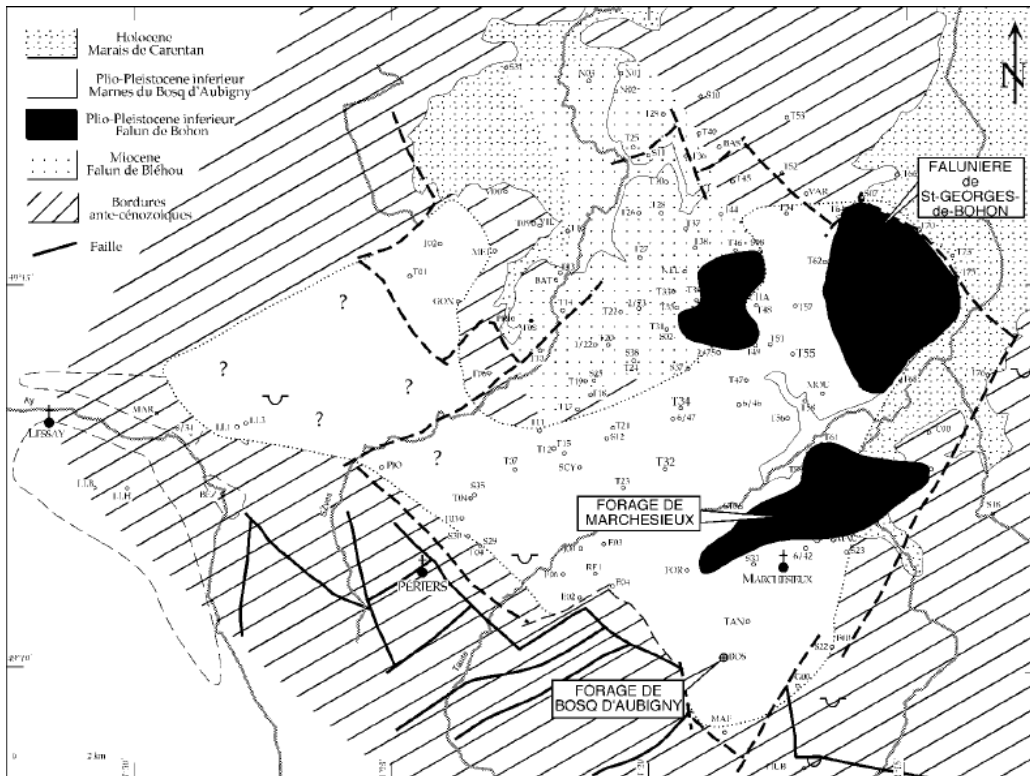


Figure 13 : Extension des faciès marneux (Marnes du Bosq d'Aubigny et Marnes de Saint-Nicolas-de-Pierrepont) et calcaires gréseux (Falun de Bohon) plio-pléistocènes, dans le bassin de Lessay et Saintenty-Marchésieux (Dugué O., 2000)

Dans l'étude en cours, menée par le BRGM sur le sous bassin de Marchésieux, plusieurs approches ont été abordées. Les investigations géophysiques (sismiques, électriques, gravimétriques, RMP) vont permettre de mieux caractériser la géométrie du bassin sédimentaire.

Les mesures gravimétriques (Figure 14) mettent en évidence des anomalies négatives liées au remplissage sédimentaire peu dense du système de sous-bassins de Marchésieux-Saintenty. A la lumière de la géologie complexe du socle hercynien et du signal gravimétrique associé, une méthodologie spécifique a été mise en œuvre pour extraire le signal gravimétrique relatif aux sous-bassins, basée sur l'intégration de forages de calages et des résultats de la sismique. Un processus itératif a permis d'établir la profondeur de l'interface entre les sédiments de remplissage des bassins et le socle antétriasique, en fonction du contraste de densité entre ces deux formations.

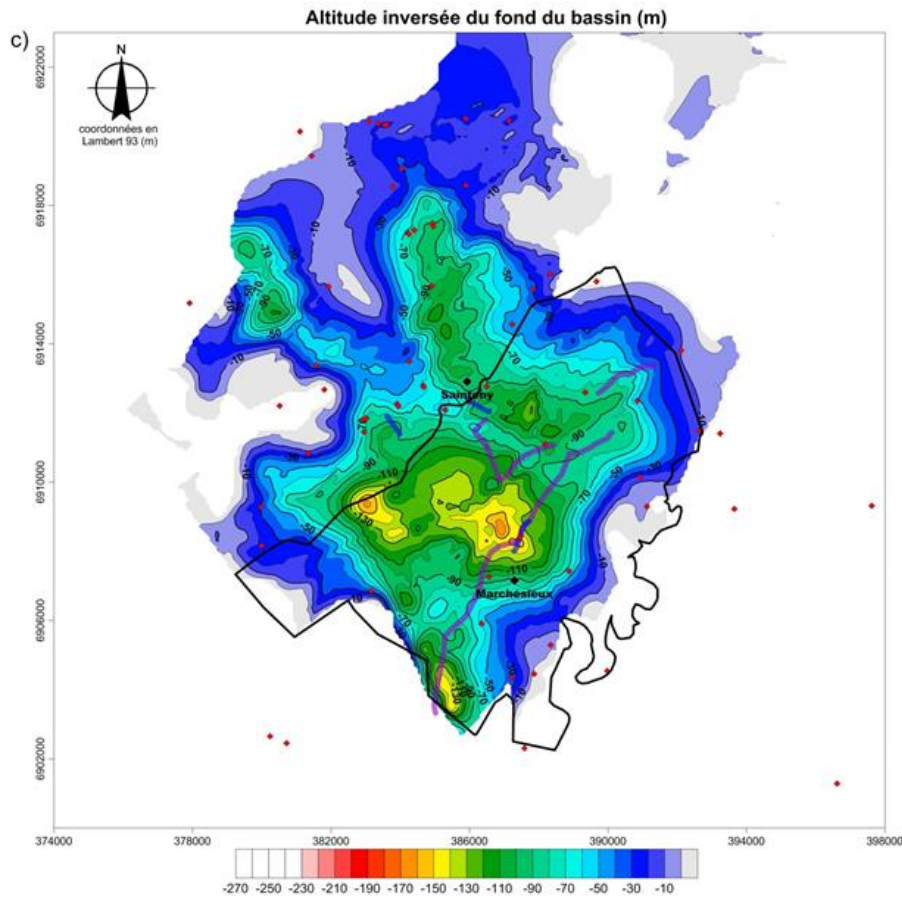


Figure 14 : Résultats pour un contraste de densité de -0.9 g.cm^{-3} entre socle et sédiments. c) altitude inversée du fond du bassin

Afin de mieux comprendre les écoulements dans le bassin dans différents compartiments (aquifères, tourbes, cours d'eau), une approche hydrogéologique a été menée, en équipant un site de référence en milieu de zones humides (Figure 15), afin de suivre les niveaux dans la nappe des tourbes, la nappe sous-jacente et le cours d'eau (Figure 16). 6 piézomètres ont été positionnés à des distances différentes du cours d'eau et à des profondeurs variées, soit dans la partie supérieure (acrotelm), soit dans la partie inférieure (catotelm).

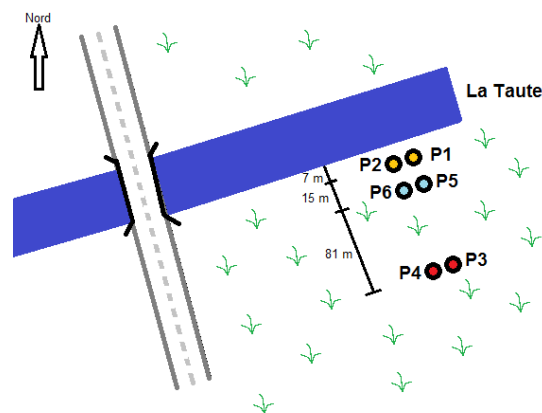


Figure 15 : Schéma de localisation des piézomètres sur le site de référence de Tribehou

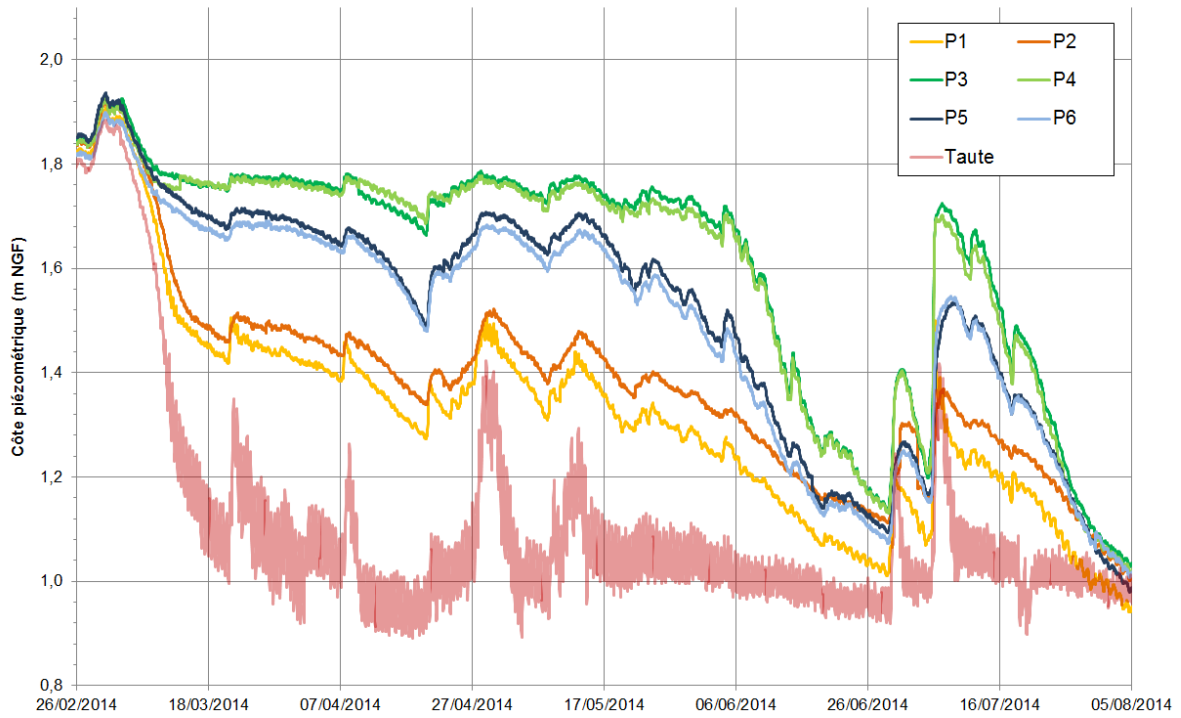


Figure 16 : Suivi des niveaux piézométriques sur le site de référence de Tribehou

Cinq nouveaux forages de reconnaissance viennent d'être réalisés et les pompages d'essai sont en cours. Les résultats complets de cette étude seront disponibles au premier semestre 2016.

3- Présentation des activités anthropiques (Parc naturel régional des marais du Cotentin et du Bessin)

PARC NATUREL RÉGIONAL DES MARAIS DU COTENTIN ET DU BESSIN

Hydrologie de surface :

- > 5 Fleuves majeurs
 - la Douve, la Taute, la Vire, l'Aure
 - l'Ay
- > Marais intérieurs et arrière-littoraux
- > 2 façades littorales
 - plage sableuses et dunes
 - estuaires (Baie des Veys, havre de Lessay)



PARC NATUREL RÉGIONAL DES MARAIS DU COTENTIN ET DU BESSIN

Variations saisonnières :

ETE
> Sol ressuyé



AUTOMNE
> Recharge (nappe, rivière)



PRINTEMPS
> Ressuyage du sol



HIVER
> « blanchie » (inondations)






PARC NATUREL RÉGIONAL DES MARAIS DU COTENTIN ET DU BESSIN

Un territoire remanié :

- > par une histoire géologique (fossé d'effondrement)
- > par l'action des eaux (transgressions marines et hydrologie fluviale)
- > par l'intervention humaine (mer, rivières et zones humides de marais)



Identité paysagère :

- Bocage
- Landes
- Marais
- Dune
- Estuaire



PARC NATUREL RÉGIONAL DES MARAIS DU COTENTIN ET DU BESSIN

Un territoire remanié :

- > par une histoire géologique (fossé d'effondrement)
- > par l'action des eaux (transgressions marines et hydrologie fluviale)
- > par l'intervention humaine (mer, rivières et zones humides de marais)



Maîtrise littorale





Hydro-morphologie





Gestion hydraulique



PARC NATUREL RÉGIONAL DES MARAIS DU COTENTIN ET DU Bessin

Gestionnaires du marais : Les ASA (Association Syndicale Autorisée des 1865)

- Regroupement de propriétaires fonciers,
- Valorisation agricole des terres de marais
- Protection contre la mer
- Entretien des cours d'eau et des fossés
- Gestion des niveaux d'eau
- Entretien des ouvrages



PARC naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin

PARC NATUREL RÉGIONAL DES MARAIS DU COTENTIN ET DU Bessin

Usages de l'eau :

De nombreux acteurs...

- Agriculteurs
- Producteurs d'eau potable
- Urbanisme
- Tourisme
- Chasseurs
- Pêcheurs
- Conchyliculteurs
- Naturalistes
- Etats et Institutions





... aux besoins en eau de marais différents :

Usages / Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ASA												
Agriculteur												
Milieu												
Pêcheur												
Chasseur												
Tourisme et nautisme												
Etat												

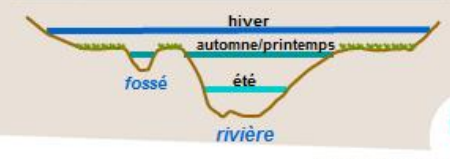
■ Niveau "marais blanc"
■ Niveau "haut"
■ Niveau "moyen"
■ Niveau intermédiaire

PARC NATUREL RÉGIONAL DES MARAIS DU COTENTIN ET DU Bessin

Les ouvrages de gestion d'eau :





LA GESTION DE L'EAU au PARC des marais du Cotentin et du Bessin



PARC naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin

PARC NATUREL RÉGIONAL DES MARAIS DU COTENTIN ET DU Bessin




- > Organe de **gouvernance**
- > Instance de **discussion d'acteurs**
- > Outil de **planification d'actions**




- > Outil d'**accompagnement technique**
- > Outil d'**innovation**
- > Outil d'**acquisition de connaissances**

PARC naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin

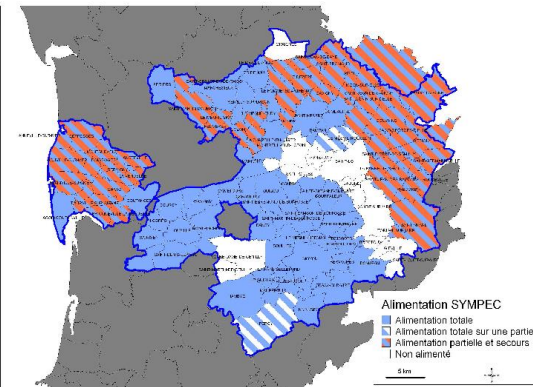
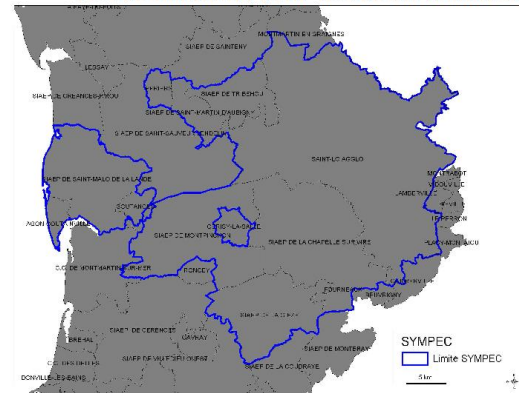
4- Protection de la ressource en eau



Syndicat Mixte de Production d'Eau du Centre Manche

Présentation

Syndicat uniquement de production
15 collectivités soit 109 communes
72 000 habitants dont 42 000 en totalité et 30 000 en

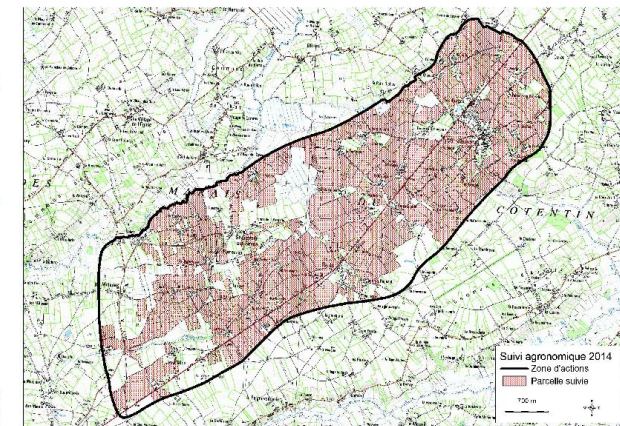


Protection facultative : Plan d'actions sur l'ensemble de l'Aire d'Alimentation de Captages

Démarche volontaire sur l'ensemble du bassin d'alimentation des captages soit 2000 ha
Action sur les pollutions diffuses
18 actions:

- . Animation et communication,
- . Aspect agricole (fertilisation, traitement phyto, rotation, agriculture bio, système herbe,...)
- . Aspect non agricole (traitement phyto des particuliers et des routes, assainissement,...)

Suivi agronomique : Appui technique dans le choix de la fertilisation et de l'itinéraire de traitement (34 exploitants pour 1400 ha)



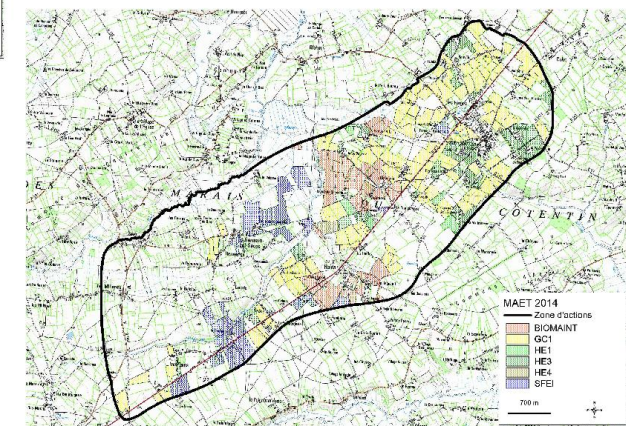
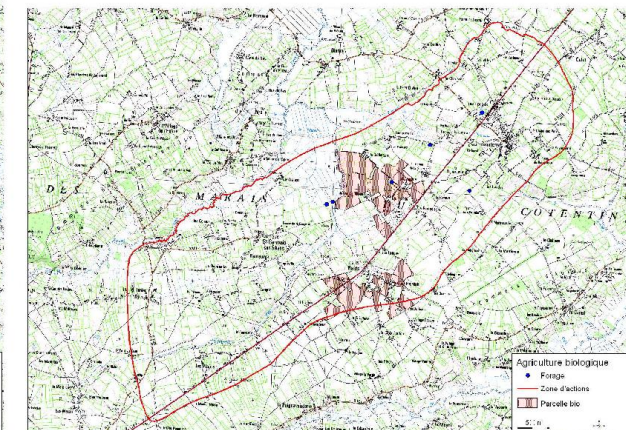
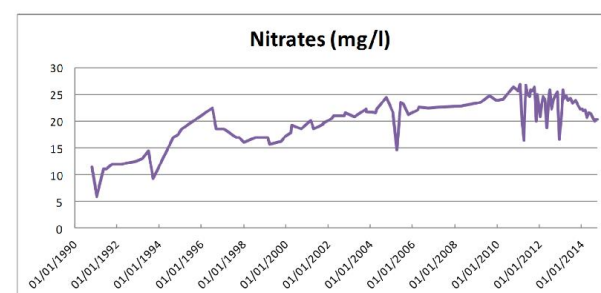
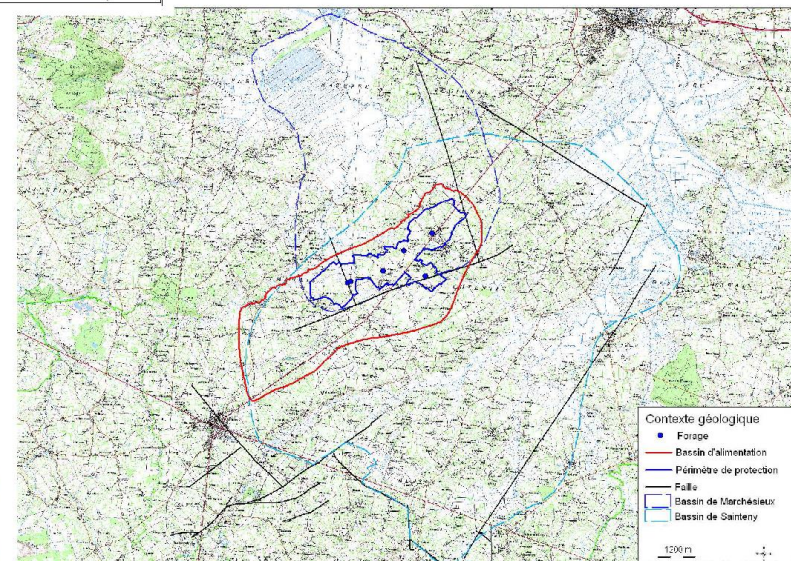
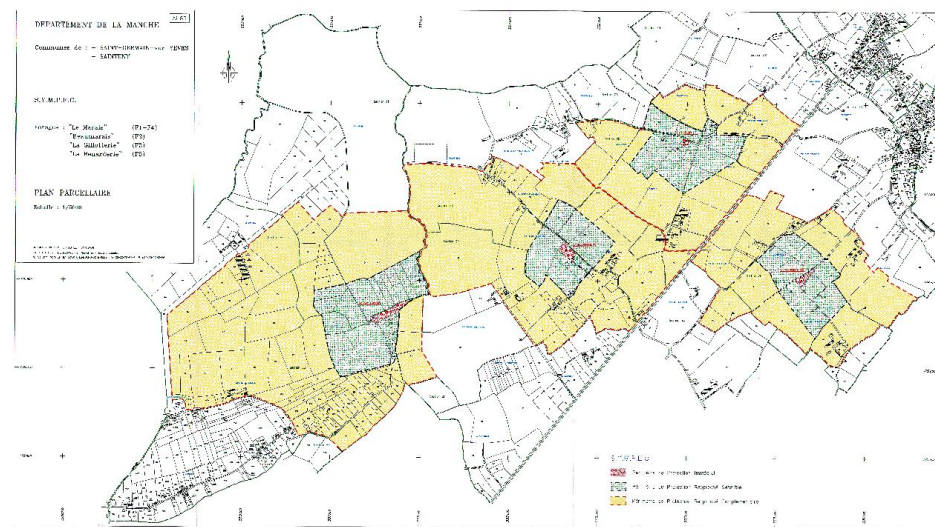
Protection de la ressource

5 forages pour une production de 3.7 millions de m³/h

Nitrates entre 0 et 25 mg/l
Présence d'atrazine et de déséthyl-atrazine

Protection obligatoire : Les périmètres de protection

Action sur les pollutions ponctuelles et accidentelles
70 ha en périmètre rapproché sensible (remise en herbe obligatoire)
320 ha en périmètre rapproché complémentaire



Arrêt 2 : Pointe du Hoc – le littoral du Bessin et le bassin de l'Aure dans un contexte de changement climatique

Intervenant (et rédacteur)	Frédéric GRESSELIN, DREAL Basse-Normandie
Heure du rendez-vous	16h30
Lieu de rendez-vous	Devant l'office du tourisme à la pointe du Hoc
Accès au site	Depuis la RN13, prendre la sortie Grandcamp-Maisy - Pointe du Hoc et suivre les indications jusqu'au parking

A- L'évolution du trait de côte en Basse-Normandie et l'instabilité gravitaire le long des côtes du Bessin

1- Le trait de côte : suivi et évolution

Le suivi de l'évolution physique du littoral a été initié en Basse-Normandie par le Conseil Général de la Manche, en 1989, dans le cadre de « l'Etude Globale de Défense contre la Mer ». Le littoral de la côte ouest du Cotentin, entre Barneville-Carteret et le Bec d'Andaine, fut le premier site régional équipé de stations de mesures (de simples bornes en bois). Réalisé par le CREC (Centre Régional d'Etudes Côtières, Franck Levoy et son équipe), le suivi s'est rapidement étendu à l'ensemble des côtes de Basse-Normandie. Composé au final de 157 bornes, ce réseau a fourni, en lien avec l'analyse de photographies aériennes, les premières images objectives de l'évolution de notre littoral.

Dans le cadre de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte, ces travaux ont été complétés récemment par l'étude de l'évolution des côtes de Basse-Normandie, menée par le Ministère de l'Ecologie (MEDDE/CEREMA), puis par le ROLNP (Réseau d'Observation du Littoral Normand et Picard), en partenariat avec la DREAL.

Sur la base d'une méthodologie précise (guide du CETMEF/CEREMA de 2012 "Levé du trait de côte à partir de photographies aériennes orthorectifiées"), cette étude a notamment porté sur la numérisation puis l'analyse de l'évolution dynamique des côtes de la Manche et du Calvados entre 1947 et 2010. Les données sont accessibles en ligne sur les sites du ROLNP et Géonormandie.

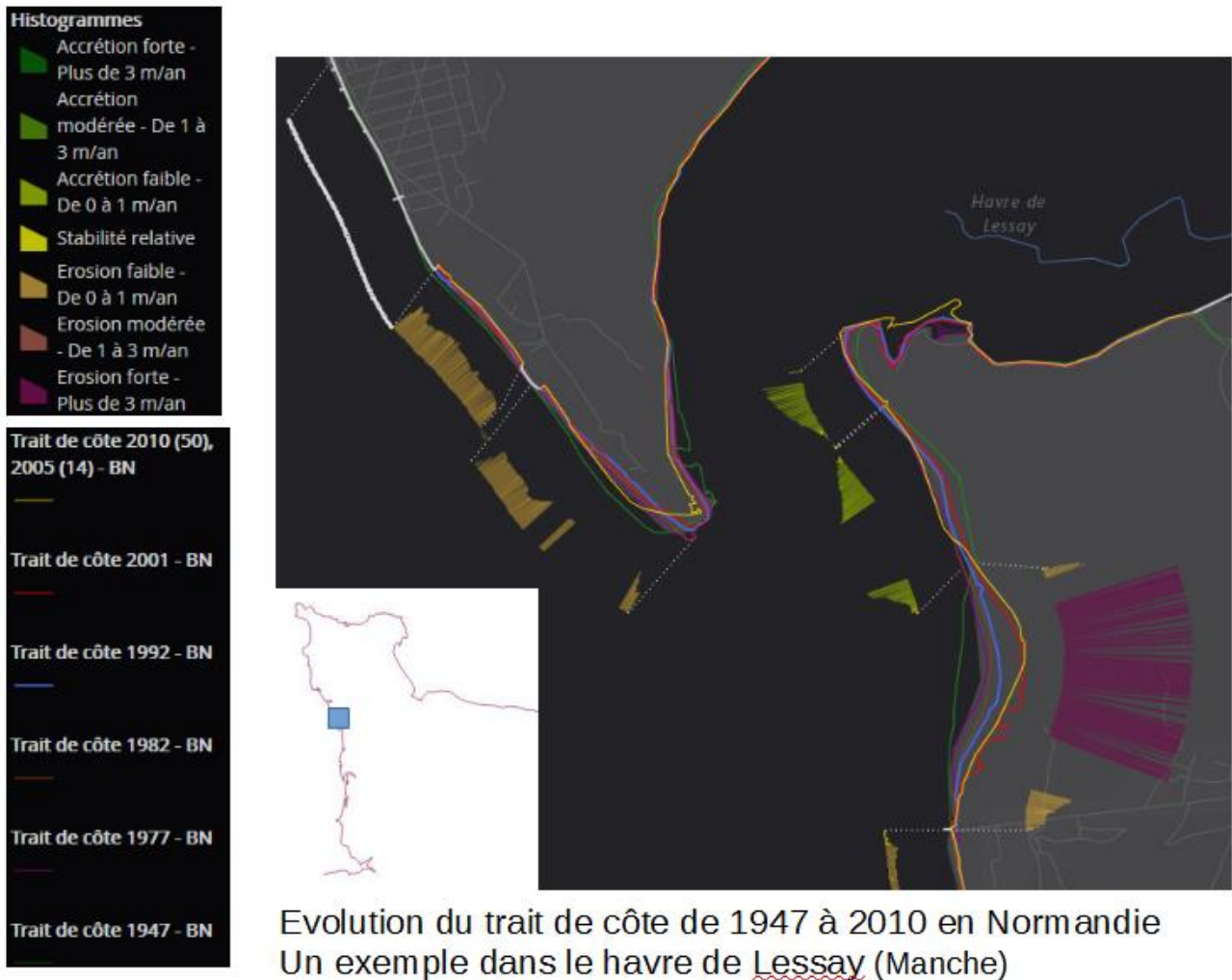


Figure 17 : Evolution du trait de côte de 1947 à 2010 en Normandie – Exemple dans le havre de Lessay (Manche)

Ces études révèlent que les dynamiques sédimentaires varient fortement d'un territoire à un autre et sont susceptibles d'évoluer dans le temps. L'érosion affecte une grande partie de la façade maritime locale, à l'exception des côtes abritées des houles (Baie du Mont-Saint-Michel, Baie des Veys notamment).

Les taux d'érosion sont localement élevés le long des côtes sableuses, atteignant parfois plusieurs mètres par an dans la Manche.

D'avantage protégées et souvent fixées par des ouvrages en dur, les côtes du Calvados sont moins sensibles. Néanmoins, on observe un recul des côtes sableuses naturelles ou protégées de simples enrochements et d'épis pouvant atteindre jusqu'à un mètre par an.

Dans le Calvados, les falaises du Bessin et du Pays d'Auge subissent également un recul permanent qui peut atteindre quelques décimètres par an.

2- Les aléas gravitaires

Pour mieux maîtriser les risques liés à l'érosion marine, en complément des informations disponibles sur la mobilité du trait de côte, la DREAL a produit en 2004 un atlas de prédisposition aux mouvements de terrain (glissements de terrain et chutes de blocs). Ce dernier, réalisé à l'échelle du 1/25 000, permet de bien visualiser les territoires les plus sensibles aux phénomènes gravitaires et d'y adapter les politiques d'aménagement en conséquence (Figure 18).

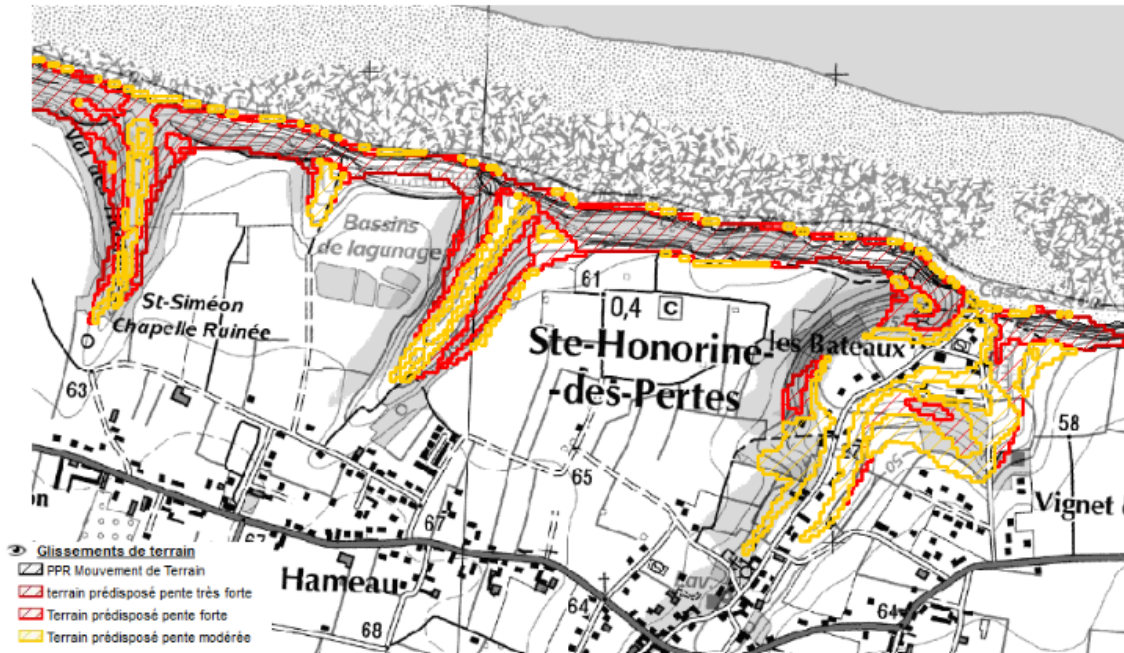


Figure 18 : Extrait de l'atlas des mouvements de terrain dans le Bessin – DREAL Basse-Normandie

Si les mouvements de terrain sont plus fréquents dans la partie orientale du Calvados, les glissements de terrain de la côte du Bessin n'en sont pas moins spectaculaires et dangereux. En août 1981, le glissement du Bouffay a mobilisé 1,5 millions de m³ de matériaux (Marnes de Port-en-Bessin, Calcaires du Bessin et Argiles et grès du Planet). Sa trace est encore bien visible dans la falaise actuelle (voir photo ci-après).



Figure 19 : Le glissement du Bouffay le long des côtes du Bessin (cliché DREAL)

B- Le changement climatique et ses enjeux le long des côtes de Basse-Normandie

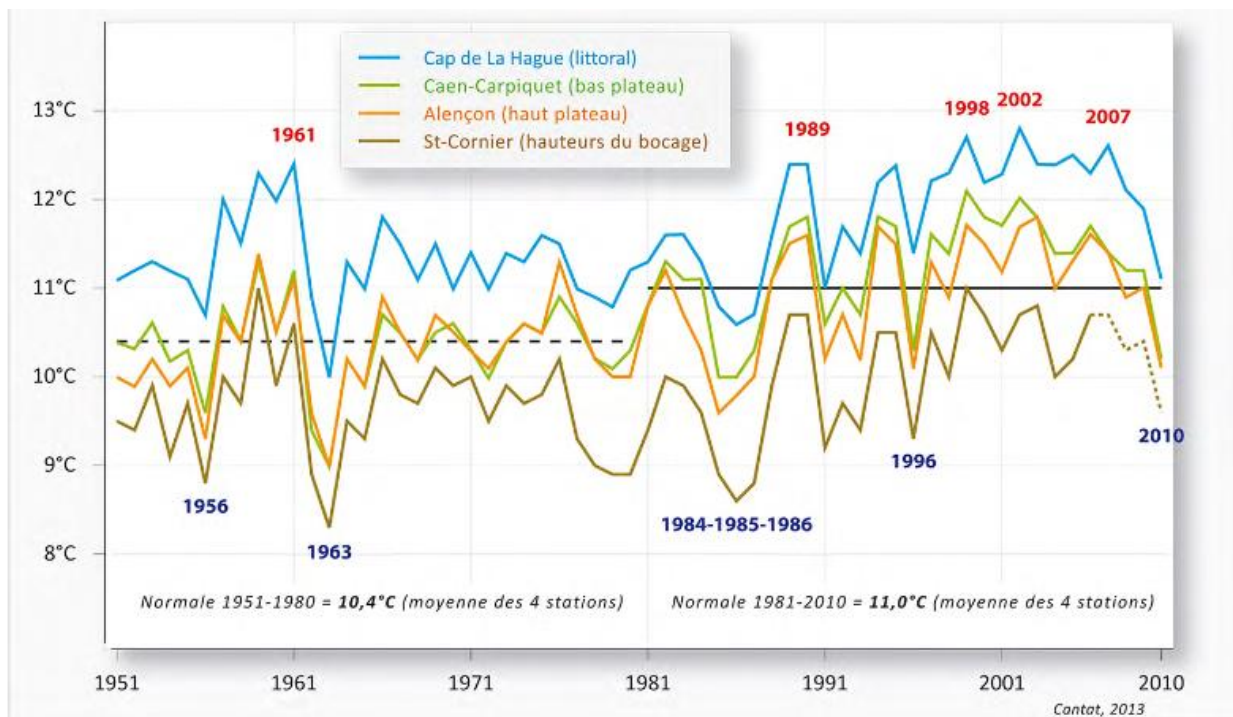
1- Un climat qui change, des effets déjà visibles

La Basse-Normandie dispose d'un climat tempéré dont les influences océaniques s'estompent progressivement de la pointe de la Hague au Perche (cf. **Annexe 2**).

Si le temps paraît comme partout ailleurs un peu capricieux ces dernières années, avec des événements pluvieux semble-t-il plus intenses que par le passé et des périodes sèches et chaudes plus nombreuses, il est encore trop tôt pour statuer sur le virage climatique que prend actuellement la Basse-Normandie et ses conséquences pour le futur.

A l'image des autres territoires de France métropolitaine, les températures régionales sont en évolution croissante et sont désormais supérieures d'un degré environ à ce qu'elles étaient en moyenne un siècle auparavant (Figure 20).

Les modèles de Météo-France prévoient actuellement, pour l'horizon lointain (2071-2100) et le scénario « sans politique climatique » (RCP8.5), une élévation des températures moyennes annuelles comprise entre 2,5°C (la Hague) et 4°C (le Perche). Pour le scénario RCP2.6 (avec politique climatique efficace), l'élévation des températures serait d'environ 1° par rapport à la situation actuelle pour l'ensemble de la région.



Graphique réalisé d'après les données Météo-France. Données de St-Cornier des Landes complétées en tirets par Le Gast sur la période 2006-2010 (Cantat, 2013) pour le Profil environnemental de Basse-Normandie

Figure 20 : Température moyenne annuelle en Basse-Normandie entre 1951 et 2010

Les modèles internationaux divergeaient il y a quelques années encore sur « l'avenir » pluviométrique de la région à l'horizon 2100 : baisse des précipitations annuelles pour la moitié d'entre eux, hausse pour les autres. Le modèle Météo-France « RCP8.5 » prévoit actuellement, pour le long terme (2100), une baisse possible des précipitations annuelles de 50 mm (le Perche, Plaine de Caen) à 150 mm (Sud-Manche). Concernant le scénario « RCP2.6 », peu de changements sont à prévoir par rapport à la période actuelle si ce n'est l'intensification des phénomènes extrêmes.

Côté vent, aucune tendance ne se dessine pour l'instant même si ces dernières années se sont avérées venteuses, et pas simplement le long du littoral.

Avec l'élévation de la température mondiale, la mer de la Manche subit depuis un siècle une élévation progressive de son niveau. La France et la Grande-Bretagne disposent de longues séries de données marégraphiques à partir desquelles il est possible d'estimer le taux d'élévation à 3,3 mm par an actuellement. Les données satellitaires confirment ces résultats.

La température de la mer de la Manche s'élève également. La station de Saint-Peter (Guernesey) montre une élévation de la température de l'eau de mer en surface d'environ 1°C sur les trente dernières années.

2- Les enjeux littoraux

Côté terre

2,6 % de la surface de la Basse Normandie sont aujourd'hui situés sous le niveau marin (Figure 21). Les enjeux liés à l'élévation de la mer sont particulièrement nombreux dans ces territoires : perte potentielle de biens immobiliers ; enjeux humains lors d'événements extrêmes ; perturbation des activités agricoles (filiales maraîchères, bovines et ovines), industrielles (agro-alimentaire notamment), perturbation possible, à très long terme, de l'alimentation en eau potable des populations littorales (salinisation des nappes côtières), modification de la biodiversité marine, affectation de la pêche et de la conchyliculture...

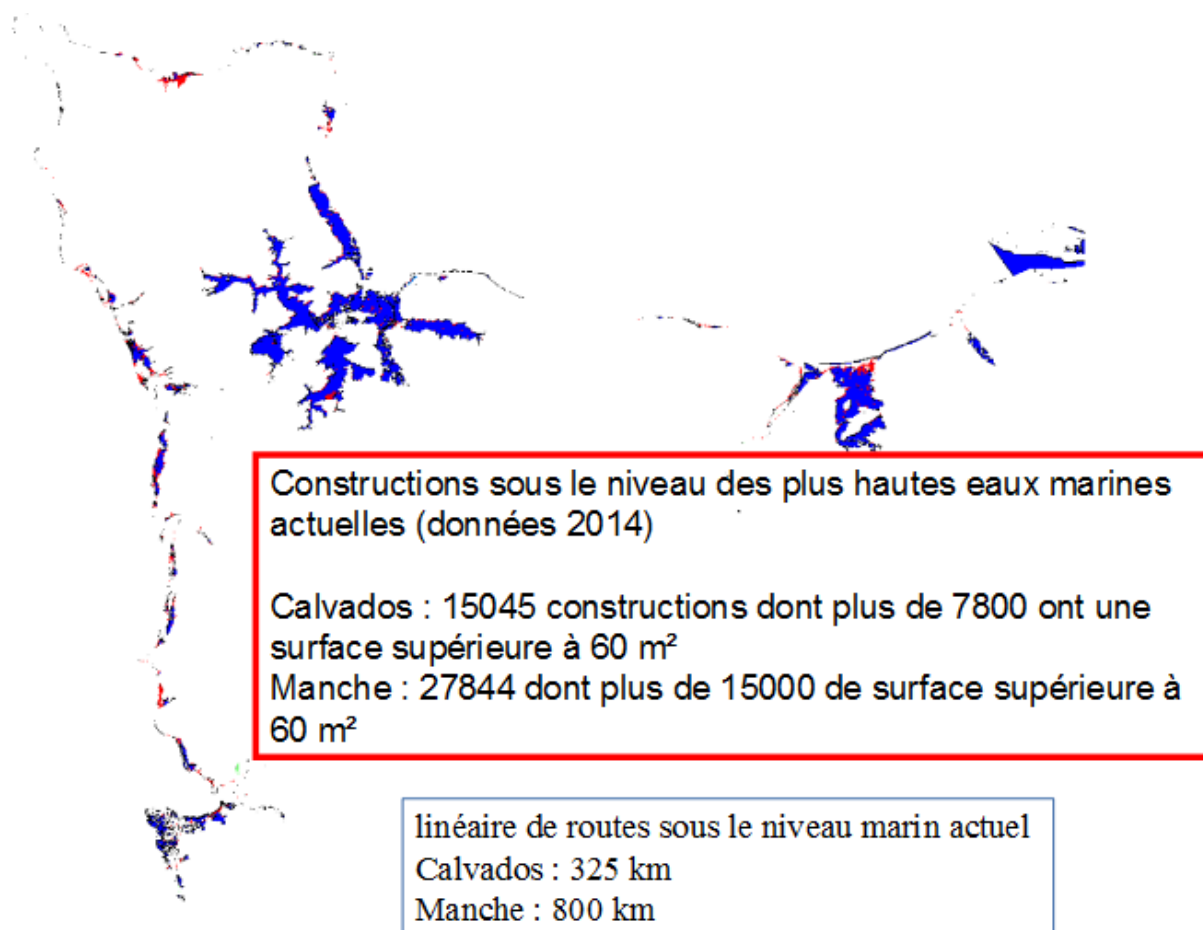


Figure 21 : Territoire (en bleu) et bâtiments (en rouge) situés sous le niveau de la mer actuel en Basse-Normandie

Une des conséquences majeures de l'élévation de la mer est l'augmentation progressive du risque d'inondation par les fleuves côtiers et les nappes d'eau souterraine de la façade maritime. La vidange des hydrosystèmes littoraux est en effet contrôlée par la dynamique des marées le long des côtes de la Manche et du Calvados. Ainsi, l'élévation du plan d'eau marin conduit inexorablement à celle du niveau piézométrique des nappes phréatiques littorales.

Si la plupart des collectivités paraissent en mesure de se protéger des submersions marines à moyen terme, il paraît plus difficile de penser qu'elles aient les capacités de limiter les impacts induits par l'élévation progressive des nappes phréatiques dans les zones urbanisées et agricoles.

La DREAL travaille activement à l'analyse de ces risques côtiers, en lien avec d'autres partenaires (Conseil Régional, Conservatoire du littoral, ROLNP, BRGM, AESN...). Elle a produit une cartographie des territoires situés sous le niveau de la mer deux ans avant la survenue de la tempête Xynthia. Les cartographies des aléas « inondation par les fleuves » et par « les nappes d'eau souterraines » sont en ligne depuis de nombreuses années sur son site internet (voir Carmen et graphique en **Annexe 3**).

Une étude initiée par la DREAL et l'AESN sur la pénétration du biseau salé dans les aquifères littoraux est en cours et menée par le BRGM.

Côté mer

Malgré les programmes internationaux BRANCH (Biodiversity Requires Adaptations in Northwest Europe under a Changing Climate, 2005-2007) et LiCCo (Littoraux et Changements Côtiers, 2011-2014), qui ont porté sur les côtes locales, et de nombreux travaux britanniques dont ceux de la GCCP (Guernsey Climate Change Partnership, 2007), il demeure difficile de statuer actuellement sur la façon dont les écosystèmes marins de la mer de la Manche vont réagir dans les décennies à venir au changement climatique. En l'absence de barrière écologique, de nombreux changements se sont déjà produits parmi lesquels la modification des communautés planctoniques (remplacement progressif d'espèces d'eau froide par des espèces thermophiles). L'apparition sporadique de poissons d'origine méridionale, tels les balistes, ou l'augmentation progressive de populations d'espèces sensibles au froid, tel le bar, semble témoigner que ces profonds changements touchent toute la chaîne trophique. Dans les années 1960, le bar était ainsi une prise relativement inusuelle dans les eaux guerneseyaises, alors que plus de 100 tonnes par an sont désormais débarqués par les pêcheurs dans cette île.

La migration possible vers le Nord d'espèces d'eau froide, telles les coquilles Saint-Jacques, pourrait fortement impacter les filières de pêche locales.

Des impacts négatifs mais aussi...des bénéfices

La région devrait tirer également des bénéfices de l'élévation des températures le long de sa frange côtière. Son attractivité touristique pourrait en bénéficier, sous condition que le dysfonctionnement des écosystèmes marins (blooms planctoniques et d'algues vertes, méduses...) ne vienne pas perturber les usagers. Les réserves en eau douce, relativement abondantes par rapport à d'autres territoires plus méridionaux, et le climat tempéré des côtes sont autant d'atouts dont la région pourrait tirer d'immenses bénéfices.

C- L'hydrologie du bassin de l'Aure

L'Aure est un affluent de la Vire qui prend sa source à une altitude de 219 m, en limite des communes de Livry et de Caumont-L'Éventé (Calvados). Après un parcours de 83,5 km, elle se jette dans l'estuaire de la Vire, entre Isigny-sur-Mer et Osmanville (Calvados).

Ses principaux affluents sont la Drôme (57,8 km de long), la Tortonne (18 km) et l'Esque (21,1 km). Son bassin versant couvre une surface de 801 km².

Le bassin de l'Aure appartient au plan géologique à la zone de transition entre le Massif armoricain et le Bassin parisien. Il se compose des unités suivantes (Figure 22) :

- **la Zone bocaine.** Ce pli synclinal paléozoïque s'inscrit en prolongement occidental de la Suisse normande. Il forme l'ossature schisto-gréseuse de la partie méridionale du bassin ;
- **le Pré-bocage,** constitué d'un ensemble de collines et de vallons ouverts façonnés dans les schistes et grès du Briovérien supérieur et inférieur ;
- **le Bessin.** Il s'agit d'un plateau composé d'assises permo-triasiques et jurassiques. Ce plateau domine la mer au niveau des falaises du débarquement ;
- **les Marais de l'Aure,** prolongement terrestre de la Baie des Veys auxquels ils appartenaient dans le passé, avant l'installation des portes à flot d'Isigny-sur-Mer.

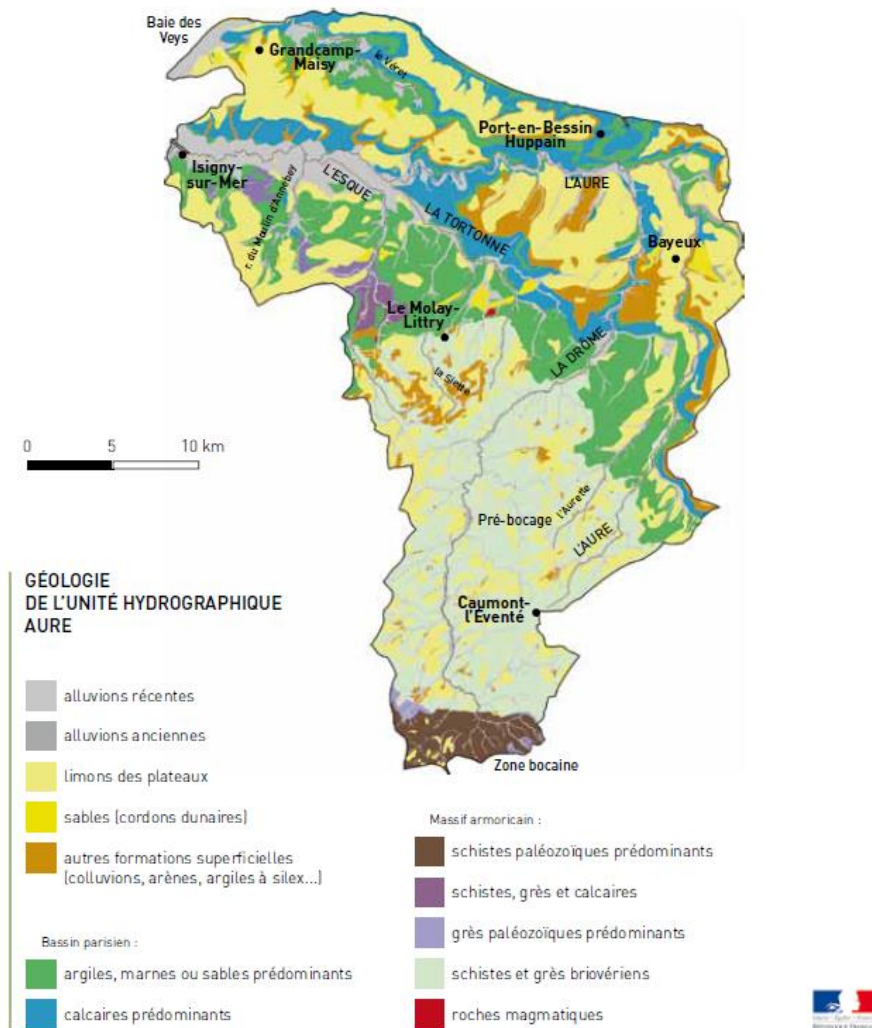


Figure 22 : Géologie de l'unité hydrographique Aure – DREAL Basse-Normandie

Il s'agit d'un pays de bocage, dédié à l'élevage bovin, mais tourné de plus en plus vers la production céréalière. Les industries de transformation y sont présentes autour de Bayeux, du Molay-Littry et d'Isigny-sur-Mer. Ce territoire abrite une partie de la production laitière de l'AOC d'Isigny.

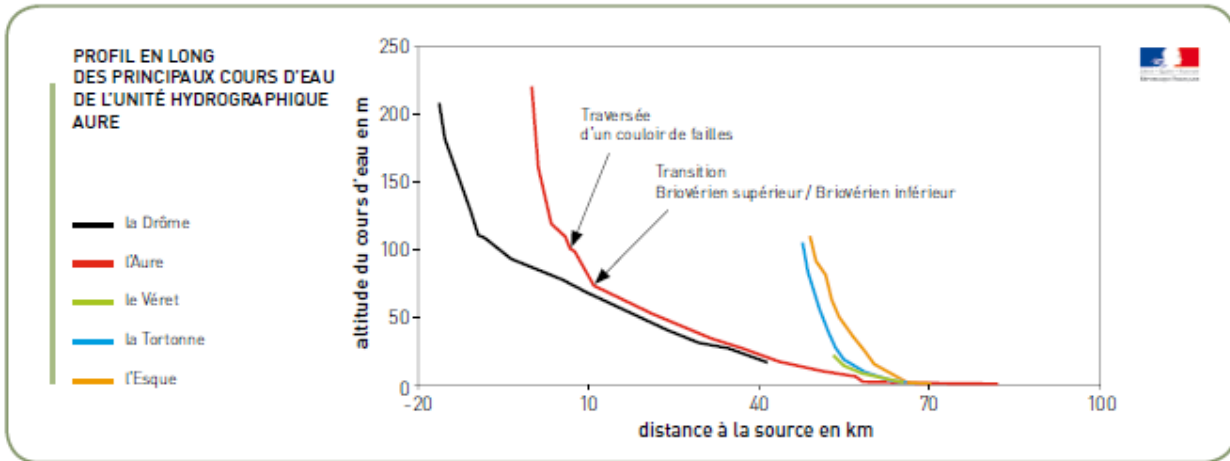


Figure 23 : Profil en long des principaux cours d'eau de l'unité hydrographique Aure – DREAL Basse-Normandie

Le module des rivières du bassin de l'Aure est relativement faible par comparaison à celui des autres rivières de Basse-Normandie. Il est d'environ 260 mm pour l'Aure supérieure à Maisons, 270 mm pour la Drôme à Sully.

La Siette et la Tortonne ont des modules comparables, respectivement de 300 et 310 mm. Le module de l'Aure inférieure à Trévières n'est que de 60 mm. L'Aure supérieure n'alimente en effet l'Aure inférieure qu'en période de crue exceptionnelle, la totalité de son débit s'engouffrant en temps normal dans un système de pertes pour resurgir quelques kilomètres plus au Nord à Port-en-Bessin. À Isigny-sur-Mer, le module de l'Aure inférieure est d'environ 230 mm.

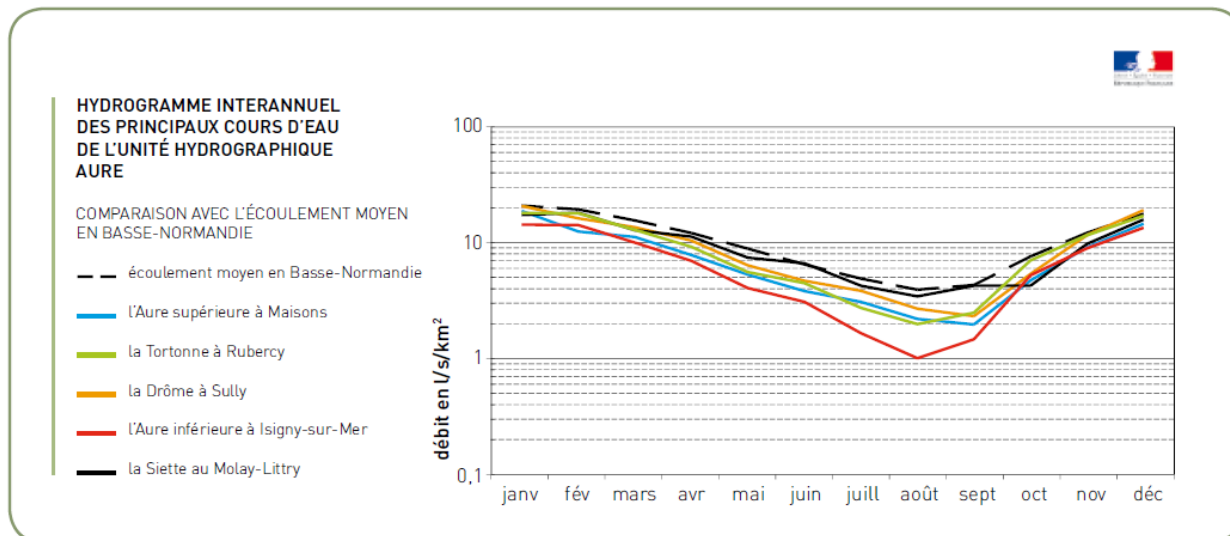


Figure 24 : Hydrogramme interannuel des principaux cours d'eau de l'unité hydrographique Aure – DREAL Basse-Normandie

Le bassin de l'Aure ne dispose pas de réservoirs aquifères très capacitifs :

- Dans le Nord du bassin, les réserves en eau souterraine se situent dans les sables du Trias, dans les calcaires jurassiques ainsi que dans les formations superficielles (altérites, colluvions de pente et alluvions). L'aquifère du Bajocien est très karstifié dans le Bessin mais à l'écart des zones de karst, sa capacité à emmagasiner des réserves en eau souterraine est très faible. Les rivières qui drainent les calcaires du Bajocien présentent donc des étiages assez sévères et sont très sensibles aux épisodes de sécheresse.

- Dans le Sud du bassin, les réserves en eau souterraines se localisent essentiellement dans les formations superficielles (altérites, alluvions et formations de pente) ainsi que dans les fissures, fractures et failles affectant les schistes et les grès.

Les roches du Briovérien inférieur, localisées dans la partie nord du Pré-Bocage, sont beaucoup plus altérées car davantage schisteuses que celles du Briovérien supérieur. Les réserves en eau souterraine du socle armoricain sont plus importantes dans cette partie du territoire qu'à l'approche de la Zone bocaine.

Les débits d'étiage de la Drôme et de l'Aure sont très proches l'un de l'autre à la confluence des deux rivières et situés autour de 2 l/s/km². En étiage quinquennal sec, le QMNA de ces deux rivières est de l'ordre de 0,75 l/s/km² ce qui est faible pour des rivières drainant des assises carbonatées du Bassin parisien.

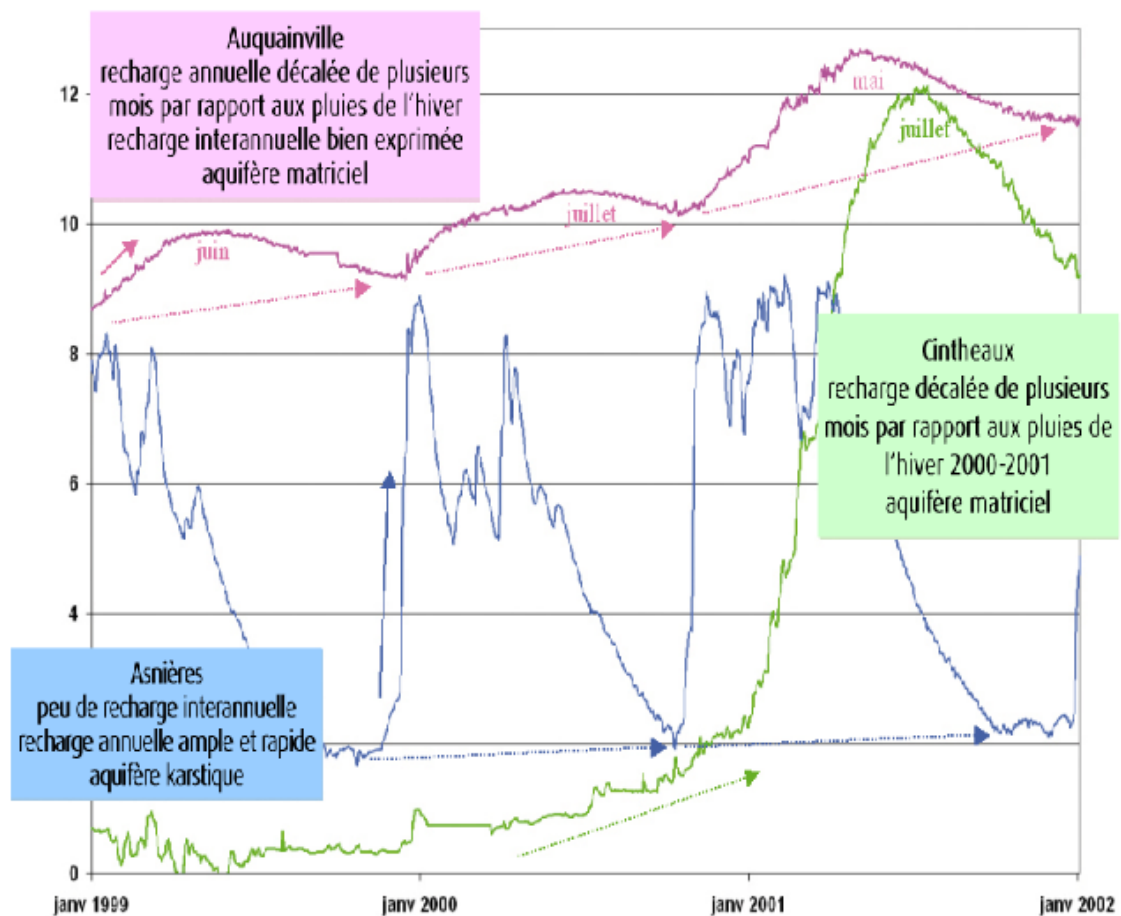


Figure 25 : Chroniques piézométriques dans les aquifères de Basse-Normandie – Source : ADES

L'aquifère des calcaires du Bessin (Asnières) fait l'objet de recharges très précoces par rapport aux autres aquifères calcaires ou crayeux de la région (Figure 25). L'aquifère est karstique. En hiver, la pluie efficace y pénètre aisément. Les recharges sont impulsives (trait bleu) car de grands volumes d'eau sont à même de pénétrer dans le tissu de fissures et de vides du karst dans un temps relativement restreint (quelques heures à quelques jours). Cependant, les calcaires de cet aquifère bajocien ne disposent pas d'une matrice très poreuse et, en dehors des vides karstiques, leur capacité à stocker de l'eau reste assez médiocre. Aussi, le niveau de la nappe monte-t-il et descend-il rapidement car la vidange du karst s'exerce et la recharge aisément. Le niveau de la nappe ne varie ainsi que peu d'un été à l'autre (flèche en pointillés bleus), car aucune réserve interannuelle n'y est emmagasinée.

Arrêt 3 : Stratotype du Bajocien

Intervenant (et rédacteur)	Olivier DUGUE, Professeur de géologie à l'université de Caen, Hydrogéologue agréé du Calvados
Heure du rendez-vous	8h30
Lieu de rendez-vous	Au pied de la cale à Sainte-Honorine-des-Pertes
Accès au site	Depuis la D514, prendre la <i>Rue de l'église</i> jusqu'à la mer, se garer.

La série jurassique des falaises de Sainte-Honorine-des-Pertes

La coupe littorale des falaises du Bessin, entre Sainte-Honorine-des-Pertes et Port-en-Bessin a été choisie par d'Orbigny (1852) comme stratotype de son étage Bajocien. Elle présente la succession suivante, avec de haut en bas (Figure 26) :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 5 - Calcaires de St-Pierre-du-Mont (12 m) : | Bathonien moyen |
| 4 - Marnes de Port-en-Bessin (38 m) : | Bathonien inférieur à moyen |
| 3 - Calcaire à spongiaires (10-12 m) : | Bajocien supérieur |
| 2 - Oolithe ferrugineuse de Bayeux (0,05-0,5 m) : | Bajocien inférieur à moyen |
| 1 - Malière (6-7 m) pro parte : | Aalénien moyen à Bajocien inférieur |

1- La Malière

La MALIERE (Aalénien moyen à base du Bajocien inférieur ; 6-7 m) présente à la base (Membre inférieur : 1-2 m ; Aalénien moyen à supérieur ; zones à Murchisonae et Concavum) des alternances de marnes et de calcaires argileux bioclastiques, avec des silicifications, au sommet.

Le Membre moyen (4-5 m ; Bajocien inférieur ; zones à Discites et Laeviuscula) se caractérise par des bancs calcaires silteux sombres, associés à des cordons irréguliers siliceux noirâtres. Dans ces dépôts intensément bioturbés (Chondrites et Zoophycos), quelques organismes benthiques y sont souvent mal fossilisés (Bivalves à l'état de moules internes et Gastropodes). Les microorganismes planctoniques deviennent plus abondants au sommet. Le sommet du Membre moyen, plus riche en glauconie et abondamment bioturbé, est érodé par une surface d'érosion très irrégulière et associée à une lacune biostratigraphique (du sommet de la sous-zone à Laeviuscula à la base de la sous-zone à Sauzei).

Le Membre supérieur (0-0,3 m ; Bajocien inférieur ; sous-zone à Sauzei) ou "Couche Verte" correspond au remplissage conglomératique des dépressions de cette surface d'érosion, avec remaniement des fossiles et des calcaires sous-jacents. Bon nombre de ces éléments avellanaires à pugilaires sont eux-mêmes recouverts d'un enduit phosphaté ou glauconieux. Mais, la matrice du conglomérat est un calcaire biomicritique gris-clair à grains de glauconie, qui recèle une faune propre (Bélemnites, Ammonites, Bivalves, Gastropodes...) et quelques débris de bois flottés. Les organismes planctoniques carbonatés, phosphatés ou glauconitisés restent abondants. Le sommet de la MALIERE est une surface d'érosion complexe et de grande extension latérale qui tronque à la fois les conglomérats de la COUCHE VERTE et le sommet glauconitisé du Membre moyen, associée à une lacune biostratigraphique (de la sous-zone à Hebridica à la base de la sous-zone à Edouardiana).

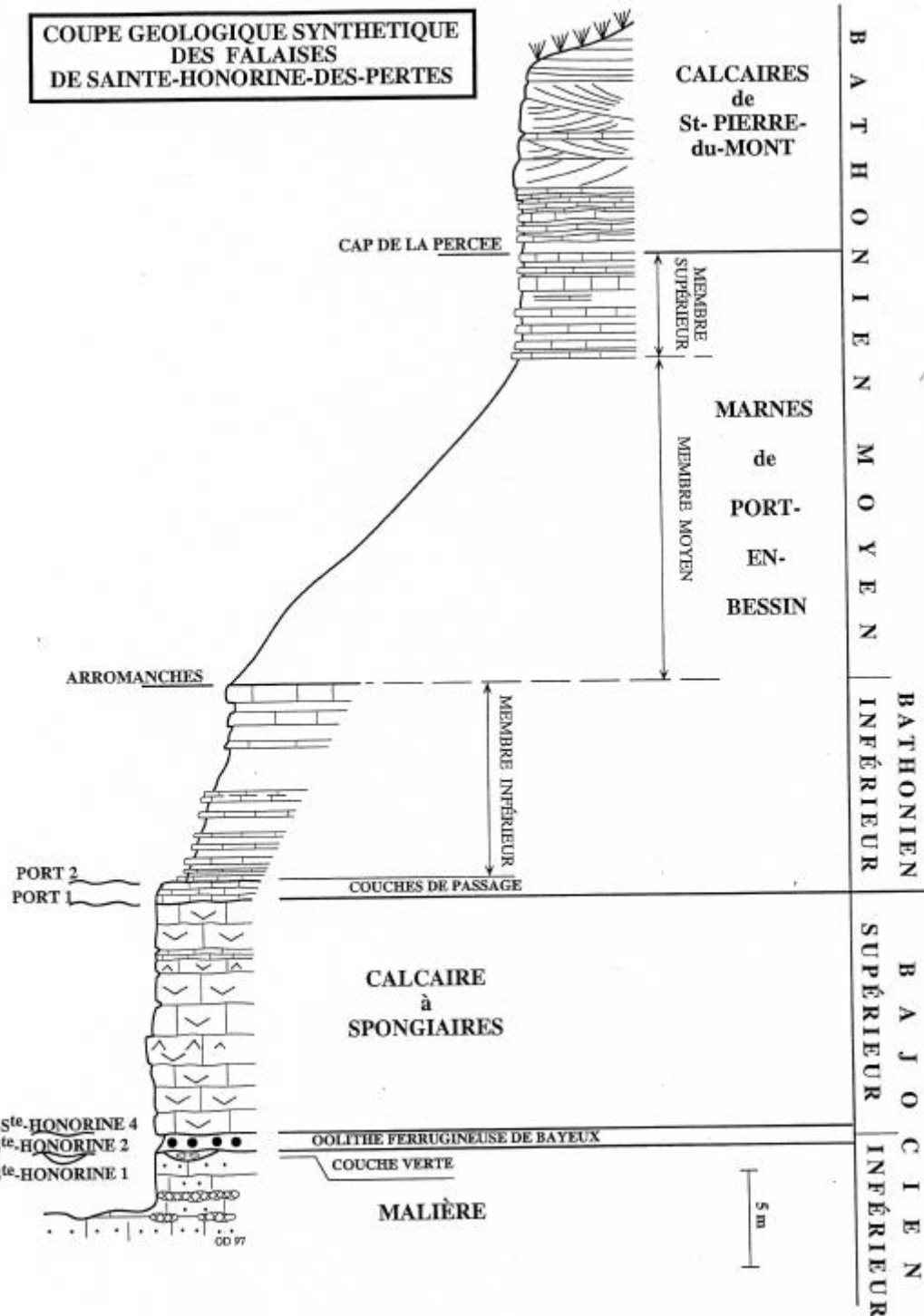


Figure 26 : Coupe géologique synthétique des falaises de Sainte-Honorine-des-Pertes

- Paléogéographie

La MALIERE est connue depuis le Cotentin jusqu'au Sud de Caen, sous un faciès de calcaire marno-silteux, à grains glauconieux et phosphatés, mais disparaît en direction des paléoreliefs de Falaise et de Sées. Sur les écueils de May, l'épaisseur de la MALIERE est réduite à moins de 1 m et les silex n'existent plus. Au Sud et à l'Est de Caen, les faciès conglomératiques glauconieux de la COUCHE VERTE passent latéralement à des sables glauconieux discontinus, avec débris phosphatés. Cette formation est absente dans les sondages du Havre.

2- L'oolithe ferrugineuse de Bayeux

L'OOOLITHE FERRUGINEUSE DE BAYEUX (0,05-0,5 m ; sommet du Bajocien inférieur à base du Bajocien moyen) est une formation carbonatée, jaunâtre à beige, avec des oolithes et pisolithes ferrugineux. Malgré l'extrême condensation de ces dépôts ferrugineux (entre 10 et 50 cm) qui reposent soit sur le Membre moyen de la MALIERE, soit directement sur la Couche verte, des critères faunistiques et sédimentaires permettent de subdiviser l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux en quatre unités (Figure 27) :

- Couche (A) ou CONGLOMERAT DE BAYEUX (0,2-0,3 m, zone à Humphriesianum ; Bajocien inférieur) caractérisée à la base, par une accumulation continue d'oncolithes aplatis ferrugineux (\varnothing 1-1,5 cm), dans une matrice calcaire à oolithes ferrugineuses hétérométriques, puis surmontée par un dallage stromatolithique ferrugineux (3-10 cm d'épaisseur). La surface au sommet des stromatolithes est associée à une importante lacune biostratigraphique ;
- Couche (B) (0-0,15 m, zone à Niortense ; Bajocien supérieur basal) est un calcaire biomicritique à oolithes ferrugineuses brillantes, très fossilifère, présentant à la base, des oncolithes ferrugineux aplatis (\varnothing 10 cm) ;
- Couche (C) (0-0,1 m, zone à Garantiana ; Bajocien supérieur) à oolithes ferrugineuses mates hétérométriques dans une abondante matrice biomicritique. Il est souvent difficile de distinguer à l'affleurement le banc (C) du banc (B), bien que les ammonites index soient différentes ;
- Couche (D) (0,2-0,3 m, sous-zone à Truellei ; Bajocien supérieur) est un calcaire micritique ferrugineux bioturbé est caractérisé par une distribution irrégulière des oolithes ferrugineuses, plus grossières, mal classées et de couleur mate.

• Environnement sédimentaire

L'environnement sédimentaire de dépôt de L'OOOLITHE FERRUGINEUSE DE BAYEUX, se situe dans la zone photique, loin du rivage et ne reçoit que des apports terrigènes fins, suggérant un haut-fond éloigné des côtes armoricaines. La concentration des solutions de fer persiste longtemps, au cours de quatre zones ammonitiques, et fait suite à une authigénèse glauconieuse et phosphatée (Bajocien inférieur, Couche verte).

• Paléogéographie

Les faciès condensés et ferrugineux de L'OOOLITHE FERRUGINEUSE DE BAYEUX sont connus sur toute la partie NE de la bordure armoricaine, depuis le Cotentin jusqu'à la région du Havre, et plus spécialement dans le Bessin, la Campagne de Caen et au Nord de la Campagne de Falaise. À proximité de Falaise, ces faciès ferrugineux passent progressivement vers le Sud à des dépôts calcaires boueux bioclastiques à Brachiopodes (CALCAIRE à *Acanthothiris spinosa*, biopelmicrite). En revanche, le CONGLOMERAT DE BAYEUX avec son horizon-repère à stromatolithes est limité au Bessin.

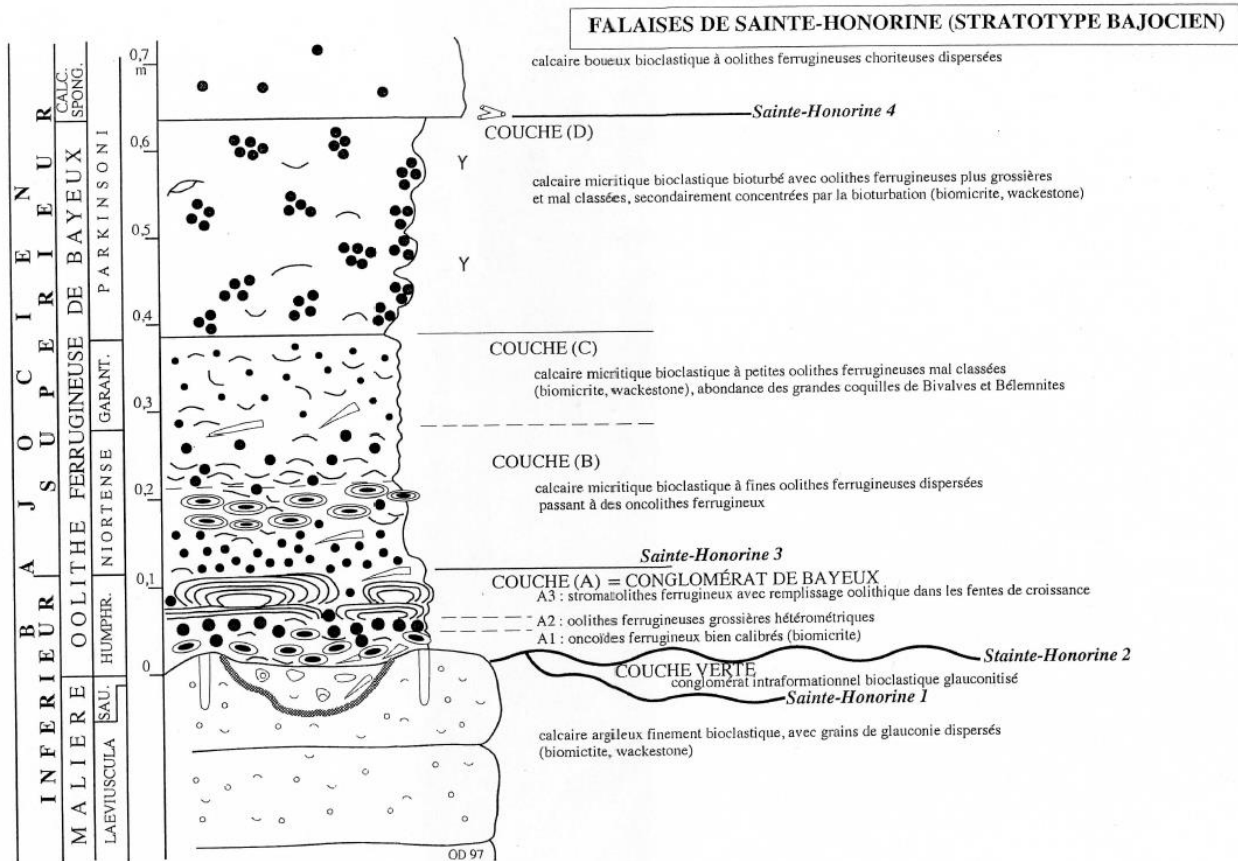


Figure 27 : Coupe géologique des quatre unités de l'oolithe ferrugineuse de Bayeux

3- Le Calcaire à spongiaires

Le CALCAIRE A SPONGIAIRES (ex. Oolithe blanche, 10-12 m ; Bajocien supérieur, sous-zone à Bomfordi), blanchâtre, se caractérise par des bancs calcaires massifs à noduleux, présentant des pélétoïdes limoniteux dispersés et surtout une faune abondante d'éponges siliceuses en écuelles et d'éponges calcaires, accompagnée d'une faune commensale. Ces colonies d'éponges ne construisent pas des récifs, mais vivent côte à côte, sur des fonds boueux peu profonds, au-dessus de la zone d'action des vagues de tempêtes, car elles apparaissent périodiquement renversées et remaniées.

Cette formation carbonatée bajocienne enregistre l'apparition de nombreux groupes d'invertébrés et de vertébrés qui se développent au cours du Bathonien. Par comparaison avec les faunes de l'OOLITHE FERRUGINEUSE DE BAYEUX, il y a un renouvellement des faunes sur la bordure armoricaine.

•Paléogéographie

La formation du CALCAIRE A SPONGIAIRES est reconnue sur toute la façade littorale, depuis Blosville (50) jusqu'au Havre, ainsi que sur les fonds de la baie de Seine et au large, sur la côte septentrionale du Cotentin. Toutefois, son épaisseur diminue progressivement en direction du Sud-Est (20 m à l'W de Bayeux ; 10-12 m dans les coupes du Bessin ; 9-10 m autour de Caen). Ces faciès biomicritiques à éponges disparaissent entre Caen et Falaise, faisant place au faciès bioclastique plus fin et pélétoïdal du CALCAIRE à Acanthothis spinosa.

Arrêt 4 et Arrêt 5 : Système karstique de l'Aure
Pertes aux Fosses Soucy et résurgences à Port-en-Bessin

Intervenants	Laurent DUJARDIN et Jean-Louis RIBOT, équipe spéléologique d'Hérouville-St-Clair
Rédacteurs	Laurent DUJARDIN, Thierry GAILLARD, Jean-Claude ROUX
Heure du rendez-vous	10h
Lieu de rendez-vous	1- Au port à Port-en-Bessin sur le parking <i>car</i> 2- Aux fosses Soucy
Accès au site	1- Depuis la D514, en arrivant à Port-en-Bessin depuis Sainte-Honorine des Pertes, passer le rond-point, prendre la <i>rue des chantiers</i> à gauche, direction le parking <i>car</i> 2- Depuis Port-en-Bessin prendre la D6 direction Bayeux, sur la droite prendre la D100, direction Tour-en-Bessin, continuer sur la D100

Aperçu du travail des spéléologues sur le réseau souterrain des Pertes de l'Aure (Port-en-Bessin - 14)

Laurent Dujardin (Equipe spéléologique d'Hérouville-Saint-Clair)

Très tôt, dès l'Antiquité et probablement bien avant, les habitants du site de Port-en-Bessin ont constaté que l'eau qui sortait en bouillonnant de la roche ou entre les galets de l'estran était douce. Dans la première moitié du XXème siècle, des femmes venaient encore y laver leur linge, perpétuant ainsi une très ancienne tradition locale. Nous ignorons à partir de quelle époque l'homme a compris la relation entre les pertes de l'Aure dans les Fosses du Soucy, à Maisons, et les résurgences à Port-en-Bessin, au bord de la mer. C'est probablement très tôt dans l'histoire. L'Aure traverse Bayeux, reçoit les eaux de la Drome et, quand son débit est faible, disparaît dans plusieurs fosses à Maisons. Quand son débit est suffisamment important, le réseau souterrain est saturé, et les fosses débordent. La rivière suit alors un ancien lit, rejoignant l'Aure inférieure qui atteint la mer à Isigny. Ce curieux phénomène, assez rare en Normandie, a néanmoins laissé des traces dans l'histoire, a étonné de nombreux érudits à partir du XVII^e siècle et a enflammé l'imagination de quelques poètes.

En 1928, se produit un important effondrement bloquant la route Bayeux-Port-en-Bessin au niveau du virage d'Escures. Un ouvrage souterrain bétonné en forme d'obus inversé est réalisé en 1931 pour sécuriser la route et la surface. Cet aménagement existe toujours et constitue la seule voie d'accès au réseau qui ne fut trouvée qu'en 1981. Les spéléologues normands des quelques décennies précédant cette date rêvaient de pénétrer dans le réseau, plusieurs visitèrent l'ouvrage de 1931, en entendant parfois l'eau couler sous leurs pieds jusqu'à ce que quelques-uns eurent l'idée de percer le bouchon du fond et de s'aventurer dans la marne en direction de la rivière souterraine. L'exploration et l'étude du réseau souterrain pouvaient commencer. En 1982 et 1983, les progressions dans les marnes de l'effondrement sont très modestes ce qui en décourage plus d'un. En mars 1984, la galerie est atteinte et, malgré des niveaux d'eau très importants, 90 mètres sont topographiés.

Depuis cette époque, les spéléologues normands explorent et étudient le réseau. Les expéditions sont soigneusement préparées en tenant compte de la marée et des débits de l'Aure. L'équipement individuel comprend souvent une combinaison en néoprène avec des genouillères car les galeries sont peu hautes,

l'eau y circule et le sol assez agressif. Plus de 6000 mètres ont été visités et topographiés. Un autre effondrement, à mi-chemin entre le puits d'Escures et le rivage de Port-en-Bessin, a été utilisé pour y placer un tube métallique et tenter de retrouver le réseau souterrain en désobstruant un passage. A sa base, l'eau en circulation a été entendue mais les travaux ont dû être interrompus en raison de dangers nouveaux. Une bonne partie du réseau reste inconnue.

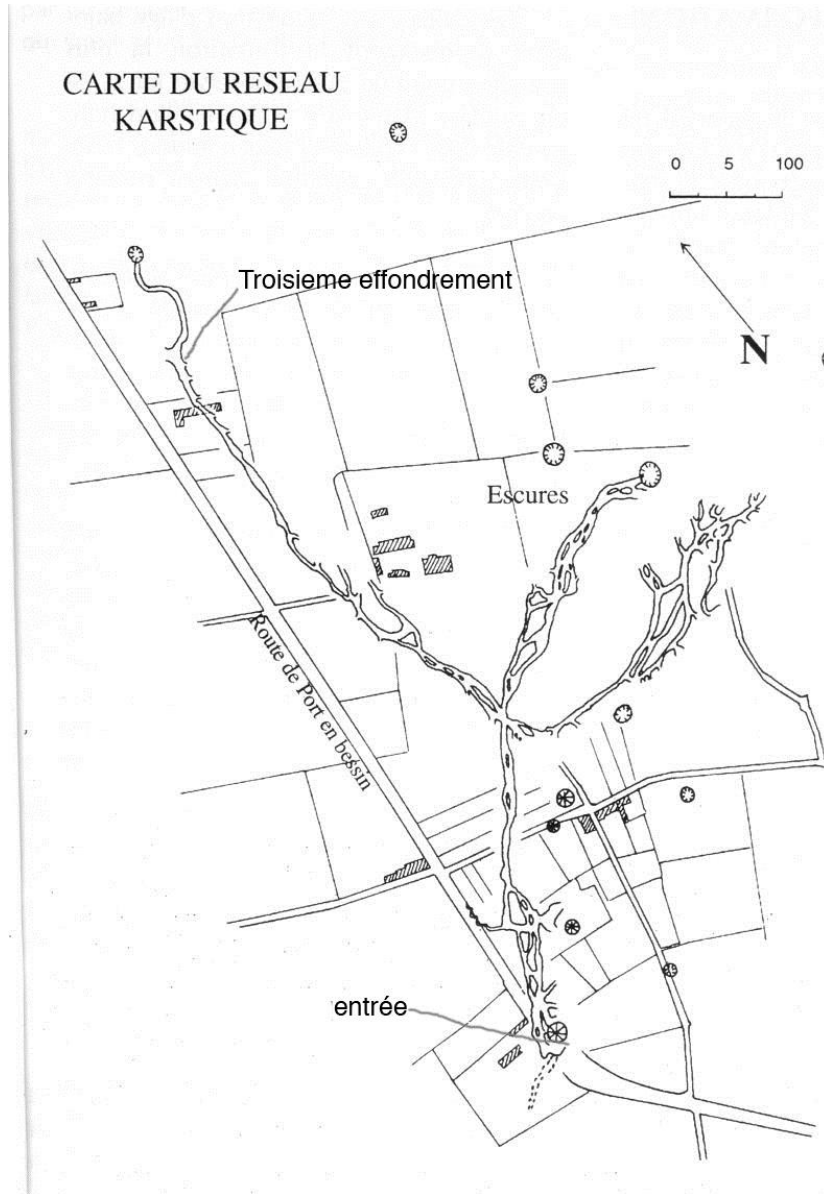


Figure 28 : Carte du réseau karstique (Equipe spéléologique d'Hérouville-St-Clair)

La mise en place du karst de l'Aure

Thierry Gaillard, hydrogéologue SAFEGE

Plusieurs phénomènes ont concouru à la mise en place du karst de l'Aure, parmi lesquels la tectonique a joué un rôle majeur. Le réseau de failles E-W, qui délimite des compartiments étroits dans le Bessin (moins de 800 m), est à l'origine du relief inversé constitué du Mont Cauvin et du Mont Cavalier. Ces reliefs font barrage au cours de l'Aure vers la mer. L'abaissement du compartiment nord du système de failles E-W conduit par ailleurs la rivière à s'écouler sur le calcaire à spongiaires (J1c) beaucoup plus favorable à une karstification que l'oolithe de Bayeux. La phase d'initiation du karst d'introduction est donc à mettre au crédit du barrage par relief inversé.

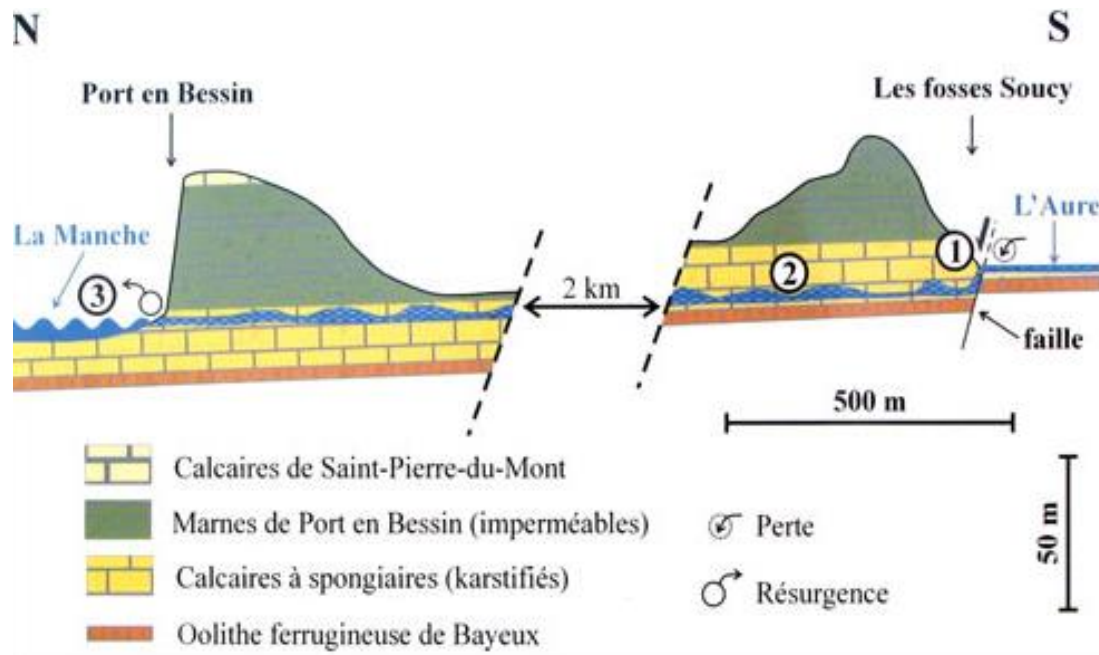


Figure 29 : Le karst de l'Aure (Lithothèque de Normandie)

Le karst d'introduction est constitué de trois fosses :

- La Fosse Tourneresse,
- La Fosse Grippe Soulais,
- La Fosse Soucy.

Pour un débit inférieur à $9\text{ m}^3/\text{s}$, l'Aure et son affluent la Drôme disparaissent entièrement au niveau de ce karst d'introduction, ce qui nécessite une section d'écoulement de l'ordre de $3,5\text{ m}^2$ (par l'équation de Poiseuille) avec un gradient de $5/3000$.

La partie amont de l'endokarst est anastomosée et subhorizontale, avec trois réseaux explorés. Le karst de restitution est ainsi probablement déterminé par une discontinuité stratigraphique, et ce bien que l'orientation générale du réseau suive une direction subméridienne ($\text{N}0^\circ$ à $\text{N}20^\circ\text{E}$), à laquelle appartient la faille de Port-en-Bessin. Le tracé aval, reconnu par micro-gravimétrie (BRGM, 1997), s'affranchit ensuite de la direction des failles $\text{N}0^\circ$ et $\text{N}35^\circ$ pour rejoindre les résurgences de la rade.

Le karst de restitution se compose de plusieurs sources qui forment probablement un delta karstique. Les résurgences se divisent en trois groupes :

- Le groupe du troisième Bassin,
- Le groupe de l'Avant-Port ou de la rade,
- Le groupe du Platier à l'est.

Un autre trait du réseau de l'Aure est son faible gradient hydraulique actuel (5m pour environ 3 km). Le niveau de base étant constitué par la mer, la baisse du niveau marin relatif au Weichsélien peut avoir joué un rôle dans la mise en place du réseau en augmentant ce gradient hydraulique et favorisant l'exportation des carbonates dissous.

Le karst de l'Aure est donc une réponse hydrogéologique à des événements tectoniques d'âge probable Oligo-Miocène voire Pleistocène (Fily et al., 1989), et eustatique du fait du forçage weichsélien (percée karstique vers la Manche).

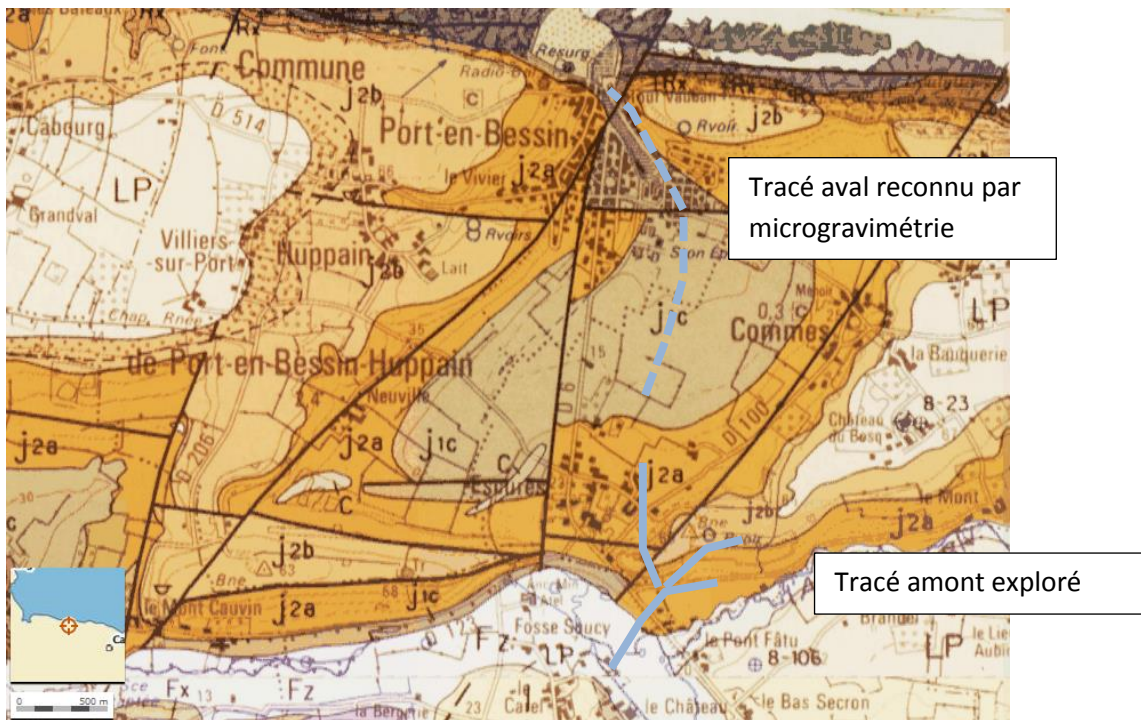


Figure 30 : Extrait de la carte géologique de GrandCamp-Maisy (Fily et al., 1989)

Mon premier traçage, ou un 14 juillet haut en couleurs, par Jean-Claude Roux

L'Aure, fleuve côtier de Basse-Normandie coule dans la plaine du Bessin selon une direction ESE →ONO puis, à 3 kilomètres de la côte, au sud de Port-en-Bessin, sous l'influence d'un accident tectonique, elle change brutalement de direction, pour se diriger vers l'ouest et se jeter dans la Manche près d'Isigny-sur-mer. A cet endroit se situent les pertes des « Fosses du Soucy » dans les calcaires bajociens très fissurés, capables d'absorber jusqu'à 9 m³/s. De multiples résurgences apparaissent à Port-en-Bessin, à 3 kilomètres au nord, sur le platier au pied des falaises et dans les bassins du port.

Des expériences de traçage, relatées dans la littérature avaient mis en évidence ces relations et indiquaient un temps de parcours souterrain de l'ordre de 12 h. Dans le cadre de l'étude hydrogéologique de la Plaine de Caen, dont j'étais chef de projet, et d'un projet d'agrandissement du port, piloté par les Ponts et Chaussées, il était nécessaire de bien localiser les résurgences, et mieux connaître le fonctionnement des pertes et les vitesses d'écoulement dans l'aquifère.

A cet effet, le 14 juillet 1967, j'organisais un traçage à la fluorescéine. Novice en la matière, Henri Paloc, dont je fis la connaissance ce jour-là, était venu spécialement pour apporter son expérience, l'équipe étant complétée par Michel Tirat et un technicien, Paul Pascaud.

Pour tenir compte du temps de parcours connu et des horaires de marée, nous avons prévu d'effectuer l'injection du colorant de bonne heure le matin afin qu'il réapparaisse à marée basse et que l'on identifie précisément les points de résurgences dans les bassins du port. Pour être à pied d'œuvre assez tôt, nous avons bivouaqué chez Marcel Guillaume, propriétaire sur les hauteurs de Port en Bessin, qui nous avait aimablement hébergé pour la nuit.

A 5h du matin, l'équipe était prête à opérer aux Fosses Soucy. Pour être certain de réussir l'opération, nous avons prévu 10 kilos de fluorescéine ! Beaucoup trop ! Celle-ci étant en poudre, non diluée, le vent dispersa du produit dans l'air, puis la pluie se mettant à tomber nous ressemblâmes rapidement à de petits hommes verts ! L'injection terminée, c'est dans cet état que nous retournâmes nous coucher pour récupérer une nuit trop courte.

Mais vers 10 heures Marcel Guillaume, qui était allé faire des courses en ville, nous téléphona que le colorant apparaissait déjà dans le port, alors que la marée commençait juste à monter. Affolement général ! Nous nous précipitâmes sur les lieux et force fut de constater que dans les bassins du port les sources étaient nettement colorées. En outre, c'était jour de très grande marée, à fort coefficient et la mer était déchainée, les vagues déferlant violemment par-dessus les jetées, si bien qu'à la pleine mer en début d'après-midi, non seulement le port, mais aussi l'ensemble de la rade étaient entièrement colorée d'un vert intense et lumineux. Jean Ricour nous avait rejoint pour assister au spectacle.

La population, très étonnée et admirative, pensait qu'il s'agissait d'une surprise de la municipalité pour célébrer la fête nationale. Quant au maire, avec les pêcheurs, il s'inquiétait pour la qualité de l'eau et la survie des poissons. Après lui avoir expliqué le but de l'expérience et pour le rassurer, je lui dis que la fluo était inoffensive et que l'on pouvait en boire, le seul risque étant d'uriner vert. Devant son air dubitatif, je joins le geste à la parole, et en bu une gorgée.

Je ne vous raconterai pas la suite... ! Mais ce fut un beau 14 juillet, haut en couleurs !

Quelques photos....



Arrêt 6 : Château de Caen

Intervenant (et rédacteur)	Thierry Gaillard, hydrogéologue SAFEGE
Heure du rendez-vous	13h
Lieu de rendez-vous	Douves du Château ducal à Caen
Accès au site	Se garer sur le parking visiteurs du Château, et descendre dans les Douves

Les arrêts 4 et 5 ont permis de décrire le Bajocien et la partie inférieure du Bathonien dans le Bessin. La formation de Port-en-Bessin correspond à une sédimentation en position de vasière externe. Dans la plaine de Caen, la sédimentation correspond à un environnement moins profond, protégé du milieu externe par une ceinture d'écueils. A la base, la formation des Bancs Bleus de la plaine de Caen se compose d'une première assise équivalente aux couches de passage de Port-en-Bessin (dite Banc Bleu sensu stricto de la zone à *Zigzag*, in Dugué et al., 1998), très fossilifère sur 1,20 m maximum. Elle se poursuit par une série de calcaires marneux et de bancs marneux eux aussi bleutés, sur 5 à 10 m d'épaisseur (formation des Blancs Bleus sensu lato). Cette formation correspond à la zone à « Zigzag » et *Tenuiplicatus*. Le passage de la formation des Bancs Bleus au calcaire de Caen n'est pas marqué par un changement brutal de texture des calcaires, mais uniquement par l'apparition d'une teinte bleu grisâtre que l'on peut attribuer à un milieu réducteur.

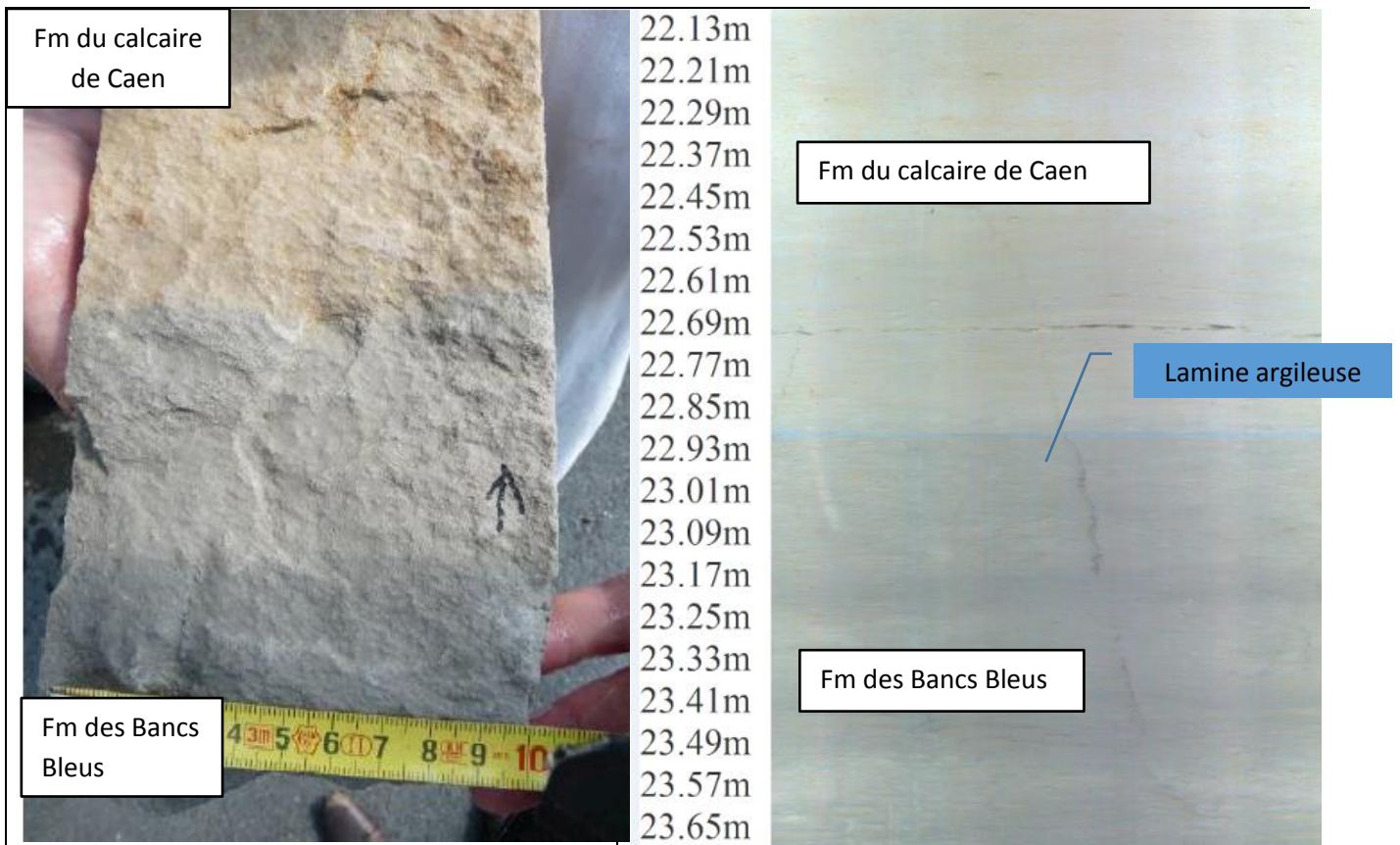


Figure 31 : Passage de la formation des Blancs bleus au calcaire de Caen (sur carotte et en imagerie de parois)

Au-dessus, la zone à *Progracilis* correspond aux formations du calcaire de Caen et du calcaire de Creully pour une épaisseur cumulée de 30 à 40 m.

Le calcaire de Caen est composé d'un membre inférieur (calcaire micritique à minces interlits argileux) et d'un membre supérieur (Pierre de Caen, exploité en pierre de taille). Les strates sont métriques.

Le calcaire de Creully est un calcaire plus grossier (présence d'oolithes) reconnaissables à ses cordons de silex et sa disposition en auges. La stratification est décimétrique.

Une surface durcie perforée marque la fin de cette formation (surface de Tracy 2).



Figure 32 : Passage de la pierre de Caen au calcaire de Creully, douves du Château de Caen (Cliché T. Gaillard)

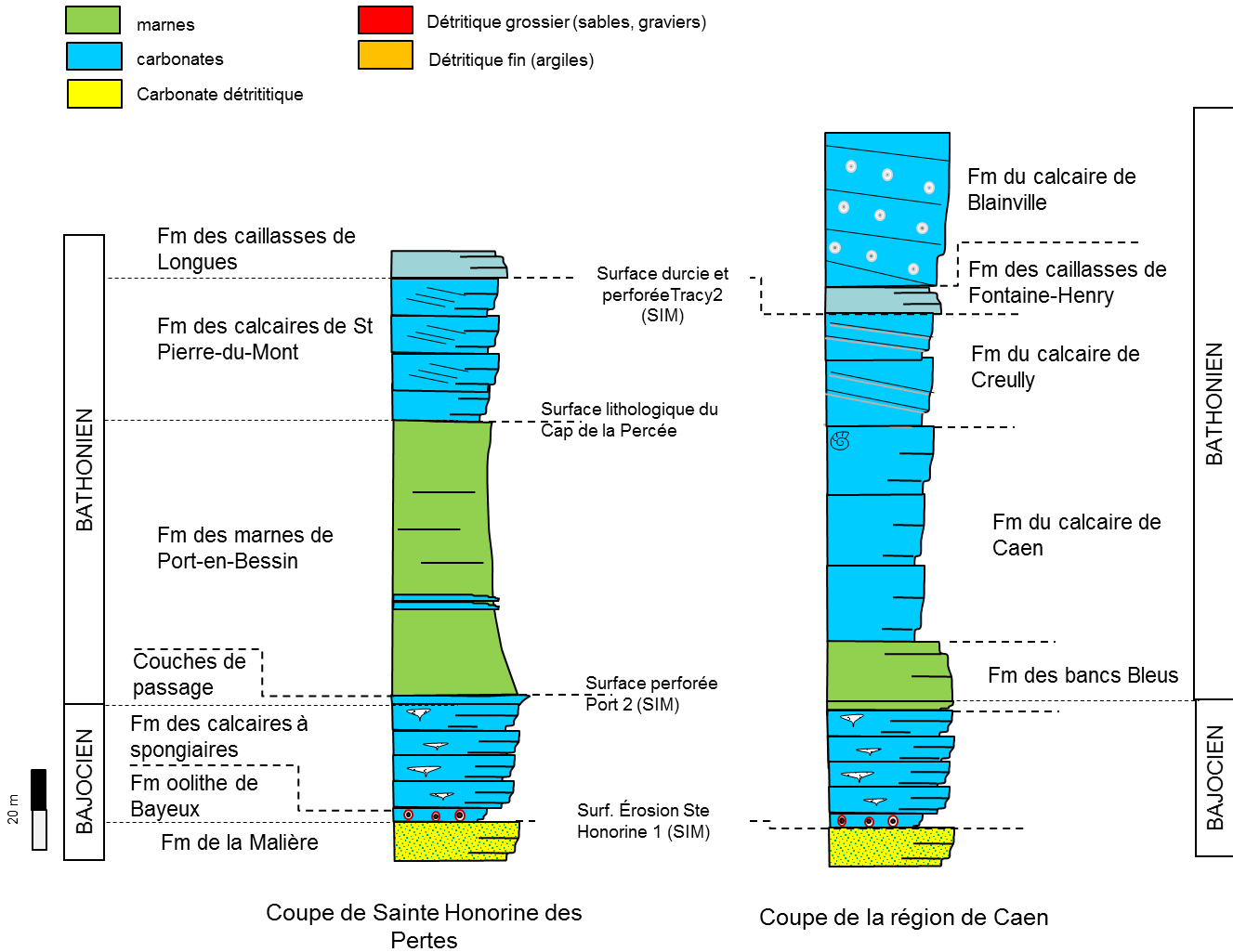


Figure 33 : Corrélation entre le Bessin et la région de Caen

La région de Caen, du fait de ce passage latéral de faciès, possède donc un sous-sol favorable à la constitution de réserves importantes dans les calcaires du Bathonien. Les paramètres hydrodynamiques de cet aquifère ont conduit à son exploitation pour l'eau potable, mais aussi pour les besoins industriels comme ceux de la Société de Métallurgie de Normandie (SMN). Les paramètres hydrodynamiques peuvent être appréhendés par des essais de pompage avec la méthode de Theis. La transmissivité s'exprime entre 1 et $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ pour un coefficient d'emmagasinement du même ordre de grandeur. Les essais conduits sur certains ouvrages montrent des ruptures de pente de la courbe de rabattements, non imputables à des limites étanches. Par contre, les analyses des dérivées confirment que le milieu se comporte comme un milieu de type double porosité.

L'aquifère du Bathonien sous la caillasse de Fontaine-Henry peut donc être représenté comme un milieu poreux équivalent ou un milieu à double porosité.

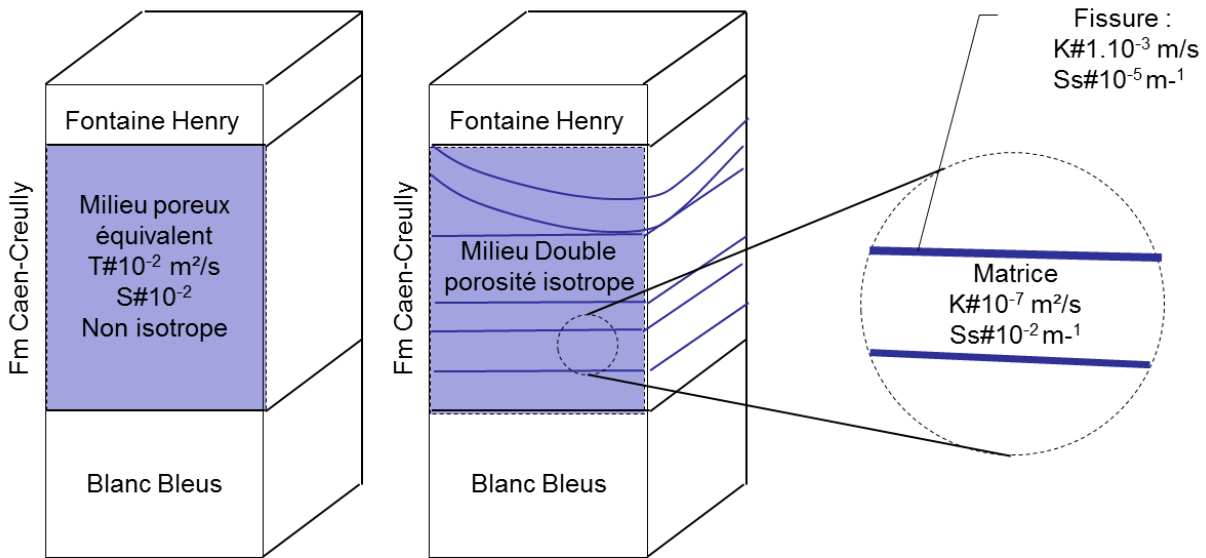


Figure 34 : Modèles conceptuels de l'aquifère Caen-Creully

L'approche analytique ainsi proposée est purement analytique et permet de résoudre des problèmes pratiques en hydrogéologie tel que le transfert de polluant, les flux entre formations bathoniennes et les relations nappe-rivière. Loin de s'opposer, les méthodes analytiques et systémiques se complètent. L'utilisation de l'une ou de l'autre méthode dépendra donc d'une part du problème à résoudre, du jeu de données, et de l'échelle d'étude de l'hydrosystème.

Approche analytique	Approche systémique
Capacité à répondre à des échelles locales (du forage au bassin)	Capacité à répondre à des échelles régionales (du bassin à l'hydrosystème)
Nécessite des études approfondies visant à connaître les éléments du système	N'a besoin que d'étudier les paramètres d'état du système (variation des stocks)
Précision des résultats	Perception globale
Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles.	Intègre la durée et l'irréversibilité (théorie de l'enthalpie des systèmes)
La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie.	La validation des faits s'effectue par comparaison des résultats du modèle avec la réalité sans fondement théorique (boîte noire)
Modèles précis et détaillés qui sont spatialisés	Modèles non rigoureux pour servir de base de connaissances, mais utilisables dans la décision et l'action globale car non spatialisés
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles.	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes.
Conduit à un enseignement par discipline.	Conduit à un enseignement pluridisciplinaire.
Conduit à une action programmée dans son détail.	Conduit à une action par objectif sans définition précise des leviers
Connaissance des détails qu'il faut relier à des objectifs précis	Connaissance des buts, détails flous.

Figure 35 : Comparaison des approches analytiques et systémiques (inspiré de J. de Rosnay, 1975, Le Macroscopie)

Extrait du *Guide des curiosités géologiques des plages du débarquement en Normandie*, 2014, Renaud Couëffé

La notoriété de la Pierre de Caen n'est plus à faire. Elle orne encore de nombreux monuments en Normandie, en France, comme à l'étranger. Ce matériau d'exception fut exploité pendant des décennies dans de grandes carrières creusées sous plusieurs quartiers de la ville. Des galeries souterraines longtemps oubliées qui constitueront l'ultime refuge de nombreux citoyens lors des raids aériens alliés pour la libération de Caen.

La Pierre de Caen, richesse du sous-sol caennais

Pierre de construction de grande qualité car facile à travailler et peu gélive, la Pierre de Caen fut l'une des richesses économiques de la ville pendant près d'un millénaire. Son utilisation pour la construction comme pour la restauration dépasse largement les frontières de la Normandie : de nombreux monuments de France, d'Europe (Angleterre, Allemagne, Hollande, ...) ou des Etats-Unis comportent des éléments de ce calcaire jaunâtre à grain fin. L'exploitation de la Pierre de Caen connaît son heure de gloire sous le règne de Guillaume le Conquérant, lors de la construction des grands édifices religieux de l'époque (abbayes et cathédrales encore debout de nos jours) en France mais aussi en Angleterre car rappelons qu'à cette époque, l'Angleterre était française.

Les carrières souterraines, un refuge lors des bombardements alliés

L'exploitation industrielle de ce matériau conduit à l'ouverture de grandes carrières, pour la plupart souterraines, sous les différents quartiers (Vaucelles, Venoix, la Maladrerie) et la proche agglomération de la capitale bas-normande (Carpiquet, Fleury-sur-Orne, Bretteville-sur-Odon). De ces siècles d'extraction de la Pierre de Caen, subsiste un vaste réseau souterrain de près de 400 ha qui aura un rôle particulier lors des bombardements de la ville en juin et juillet 1944. Les chambres et galeries souterraines ont en effet protégé la population civile qui n'a pu quitter la ville à temps. Un refuge pour 20 000 civils – près d'un quart de la population caennaise – qui vivront ainsi sous la ville depuis le débarquement jusqu'à la libération de la ville. Plus d'un mois durant lequel Caen sera pour partie une cité souterraine...

Arrêt 7 : Carrière Mathias

Intervenant	Thierry Pay, Hydrogéologue et directeur du Service Eau au conseil départemental du Calvados, Président de l'AHSP Thierry Gaillard, hydrogéologue, SAFEGE
Rédacteurs	Thierry Gaillard, Alexandra Laurent
Heure du rendez-vous	15h
Lieu de rendez-vous	Devant l'entrée de la carrière Mathias à Laize-la-ville
Accès au site	Depuis May-sur-Orne, sur la D562, dans un virage prendre à gauche la D41, se garer sur le bas-côté. Pour accéder à la carrière, traverser la route (Attention !) prendre le chemin à pied « Sous les carrières ».

Ce site se présente le long d'une route départementale fréquentée. La carrière de Géopark, a été protégée par le Conseil Départemental du Calvados.

La discordance varisque de May-sur-Orne est célèbre et figure dans de nombreux manuels de géologie. Elle a été définie par Dufrénoy en 1838 dans son « Mémoire sur l'âge et la composition des terrains de transition de l'ouest de la France » dans une carrière à May-sur-Orne, aujourd'hui presque entièrement remblayée pour l'aménagement d'un lotissement. Il ne subsiste que le sommet du contact entre les grès de May et les calcaires du Lias et du Bajocien. La description qu'en donne Bigot (1913) permet de définir la notion d'écueils, qui marque la partie sud de la plaine de Caen jusqu'à Falaise. Il s'agit de strates inclinées gréseuses (grès de May, d'Urville) qui forment des appointements de la surface post hercynienne et que la sédimentation jurassique est venue combler du Lias au Bajocien. Au contraire, les niveaux schisteux constituent des dépressions de la surface post hercynienne.

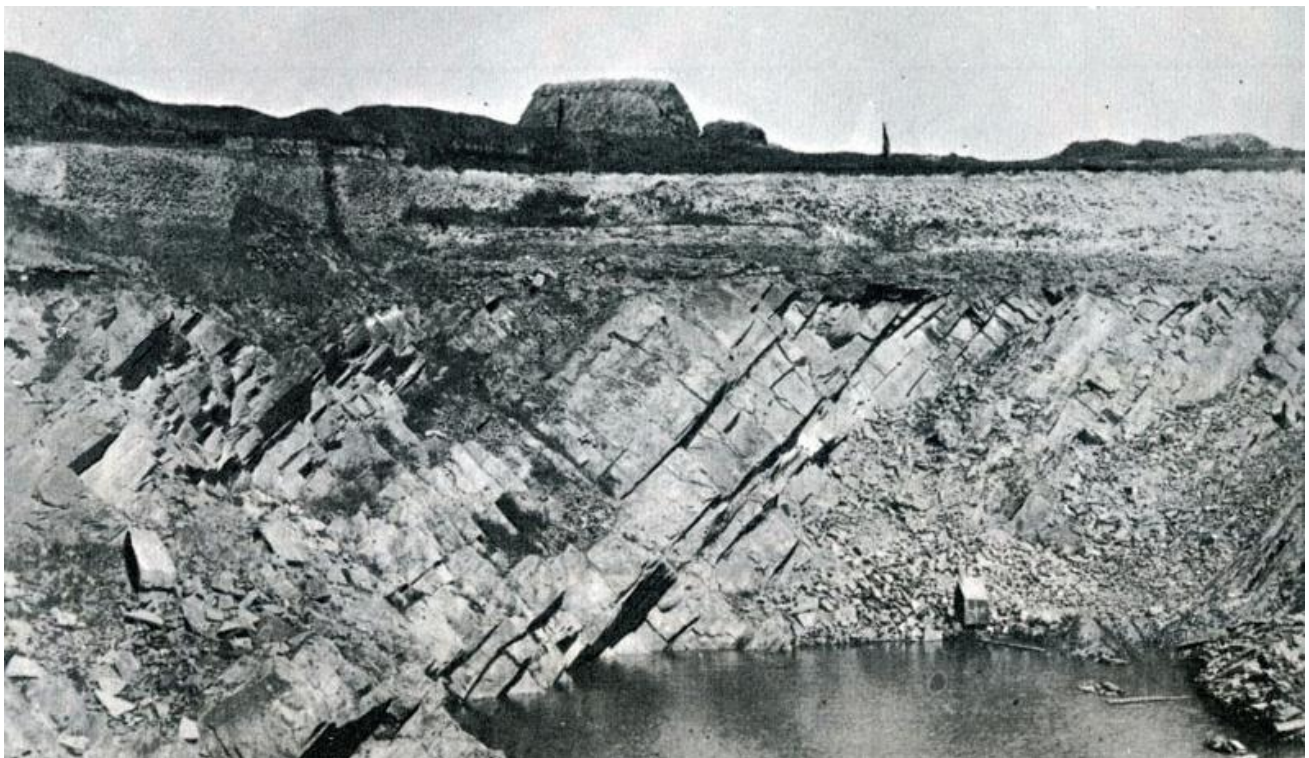


Figure 36 : Vue de la discordance « historique » dans la carrière de May-sur-Orne (lithothèque de Normandie)

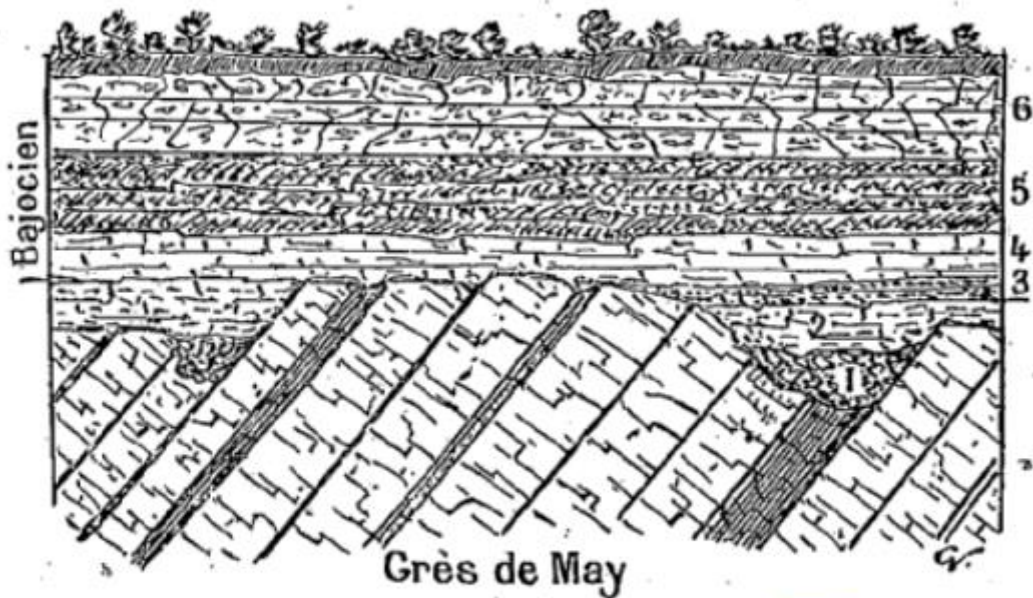


FIG. 3. — Régularisation des crêtes des grès de **May** par les couches horizontales successives du lias et du bajocien.

1. Poudingues du lias moyen. — 2. Calcaire à pentacrines du lias supérieur. — Bajocien : 3. Couches à *Ammonites purchisonae*. — 4. Couches à *Ammonites concavus*. — 5. Oolithe ferrugineuse. — 6. Oolithe blanche.

Figure 37 : Coupe de Bigot (1913)

Situé au flanc sud du synclinal de May, la carrière dite « Mathias » permet d'observer successivement :

- La discordance cadomienne mettant en contact le flysch Briovérien subvertical avec la série du Cambrien inférieur orienté N100. Le Cambrien est constitué à la base de roches détritiques en séquence grandécroissante (graviers, sables, argiles), correspondant à de vastes épandages fluviaux (Formation des conglomérats et arkoses), surmontées par une sédimentation calcaire de milieu laguno-marin en contexte transgressif (Calcaire de Laize, base de la formation des schistes et calcaires)
- La discordance varisque, faisant reposer au-dessus des Calcaires de Laize du Cambrien les terrains marno-calcaires sub-horizontaux du Pliensbachien, témoins de la sédimentation de plateforme caractérisant la bordure ouest du bassin de Paris au cours du Jurassique. (APGN, Fiche de l'inventaire géologique, 2010)

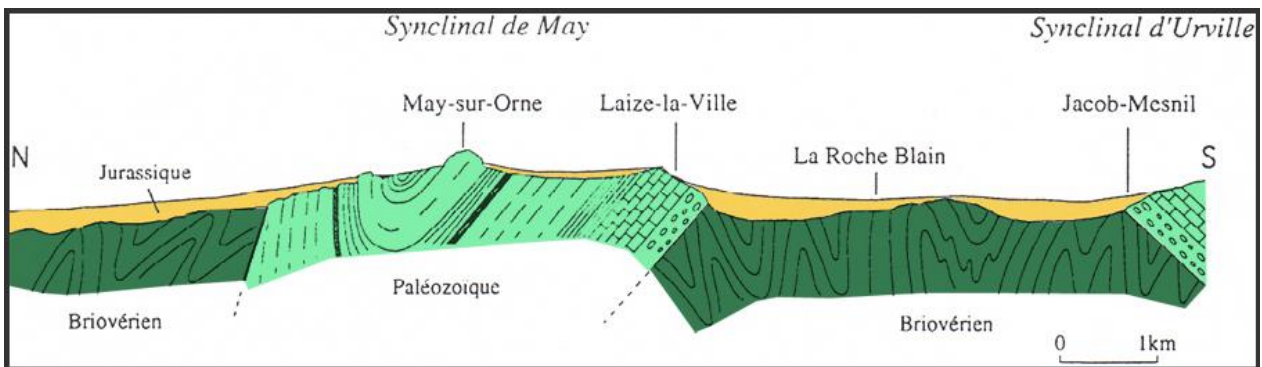


Figure 38 : Coupe du synclinal d'Urville – May-sur-Orne (Lithothèque de Normandie)

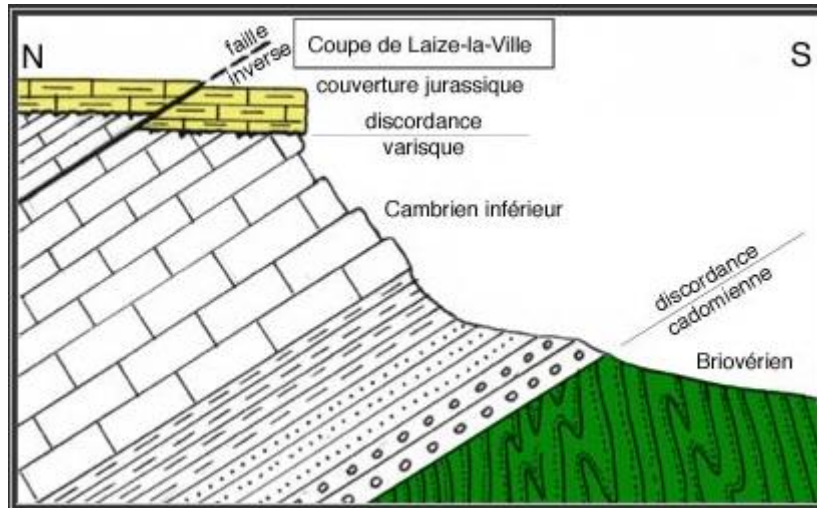


Figure 39 : Coupe de Laize-la-Ville (Lithothèque de Normandie)

Le talus de la D562 montre également une petite faille inverse remarquablement bien exposée affectant l'ensemble Paléozoïque – Mésozoïque, accident compressif à mettre en relation avec le début des déformations alpines (APGN, Fiche de l'inventaire géologique, 2010).




Figure 40 : Vue de la surface de discordance depuis le talus routier (Cliché T. Gaillard)

La discordance varisque a contrarié les travaux miniers dans les mines de May-sur-Orne avec des arrivées d'eau localisées au contact Jurassique-Paléozoïque.

Elle a été étudiée dans le cadre de la recherche de l'origine du thallium dans les eaux souterraines du bassin de la Dives. Les plus fortes concentrations ont été mesurées dans les niveaux argileux sous-jacents aux faciès d'écueils au niveau de la discordance. Les eaux souterraines sont plus chargées en thallium entre le socle et la caillasse de la Fontaine Henry (Gaillard & Pay, 2013). Le gîte primaire pourrait être lié à un niveau particulier du Paléozoïque : la base des schistes à calymènes de l'Ordovicien, qui constitue un gîte favorable à des minéralisations de fer. Le thallium est en effet souvent associé à des sulfures (galène, blende, pyrite). Les analyses de minerai de fer de la mine de Livet n'ont pas confirmé cette hypothèse. Une minéralisation hydro-thermale localisée n'est pas à exclure de même qu'un processus de lessivage avec accumulation sur la discordance.

Arrêt 8 : Captage de Fontaine Bouillante

Intervenant	Thierry Pay, Hydrogéologue et directeur Eau et Recherche au conseil départemental du Calvados, Président de l'AHSP
Heure du rendez-vous	16h30
Lieu de rendez-vous	Devant le captage 
Accès au site	Se garer sur le parking dans le virage

1- Introduction

Le Conseil Départemental du Calvados a mis en évidence en 1992 dans le cadre de sa politique de recherche d'eau un site remarquable pour l'alimentation en eau potable, situé sur la commune de Saint-Martin-de-Sallen, au lieu-dit « Fontaine Bouillante ».

Face aux besoins en eau croissants de cette région globalement pauvre en ressource en eau tant superficielle que souterraine, le Département a décidé d'entreprendre un programme de recherche à proximité d'une zone sourceuse émergeant des calcaires cambriens de la base du synclinorium bocain et qui avait fait l'objet de plusieurs jaugeages à partir des années 50.

Dans un premier temps, une étude géophysique préliminaire a été réalisée :

- 54 points de mesures électromagnétique à 3 profondeurs d'investigations (0-15m, 0-30m, 30-60m)
- 2 panneaux électriques (12 électrodes sur 110m/linéaire)

3 sondages de reconnaissance sériés (S1, S2 et S3) ont ensuite été entrepris et l'un de ces sondages a été transformé en forage d'essai (F1) et testé.

En 1997, il a été décidé de mettre en exploitation le site et un forage d'exploitation (FE1) a été réalisé à proximité du F1. Le site est en exploitation au débit de 80 m³/h depuis 2007.

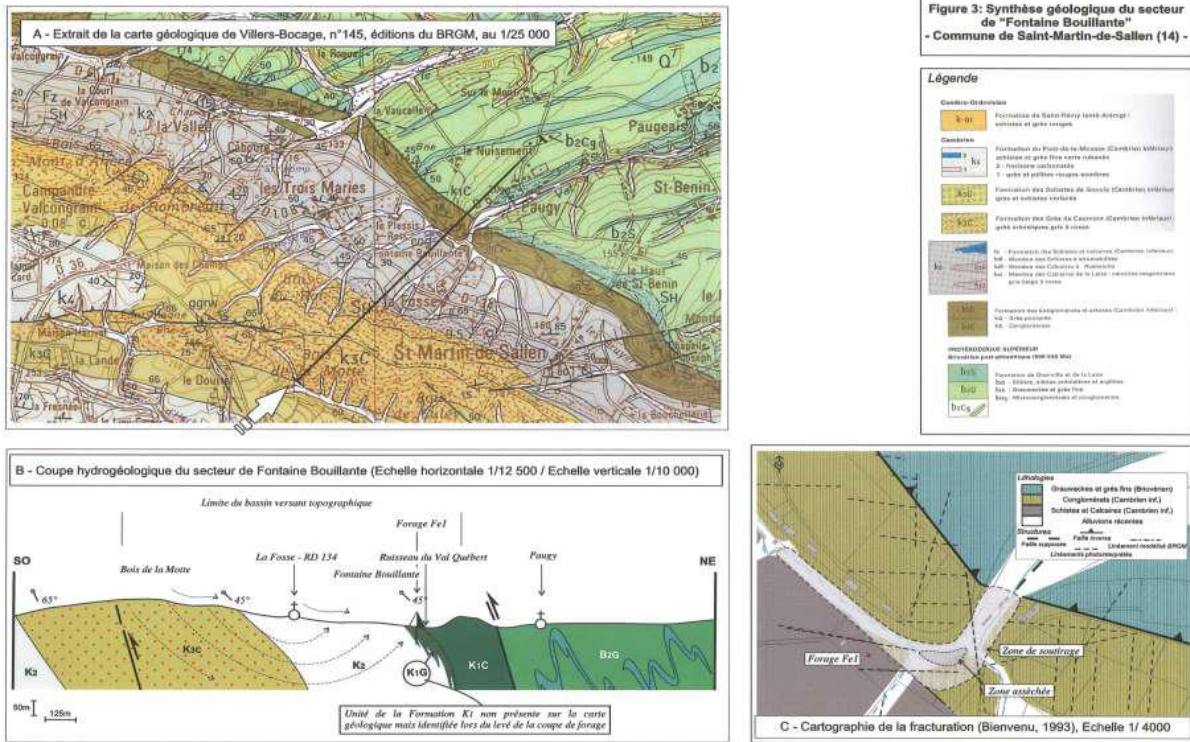


Figure 41 : Synthèse géologique du secteur de Fontaine Bouillante (Calligée, 2007)

2- Contexte géologique général

D'après la carte géologique n°145 de Villers-Bocage au 1/50 000 (Figure 41), le captage de Fontaine Bouillante se situe au nord du Synclinorium de la zone bocaine. Ce dernier est constitué de formations paléozoïques (Cambrien, Ordovicien et Silurien essentiellement) affectées par l'orogénèse hercynienne. Le dispositif synclinal de la zone bocaine est marqué par d'importantes structures chevauchantes. Il repose en discordance sur les schistes briovériens ; localement des écailles briovériennes chevauchent le Paléozoïque. Les formations briovériennes sont également plissées et fracturées (structures cadomiennes réactivées par l'orogénèse hercynienne).

La zone d'étude comprend la Formation des Conglomérats et arkoses de la base du Cambrien (K1C) et la Formation des Schistes et Calcaires indifférenciés du Cambrien Inférieur (K2). Les alternances de conglomérats et de grès sont situées dans la partie orientale de la zone d'étude et reposent en discordance sur les terrains briovériens généralement très redressés. Cette formation, au faciès conglomératique dominant par rapport au faciès gréseux, forme une barre globalement orientée WNW-ESE bien marquée dans le paysage.

La Formation des schistes et calcaires représente la majeure partie de la zone étudiée. Elle est constituée d'une alternance silto-gréseuse verdâtre où s'intercalent des lentilles calcaires. Un niveau carbonaté discontinu affleure notamment entre le hameau de « la Fosse » et Saint-Martin-de-Sallen. Le fond du Val Québert est tapissé d'alluvions récentes à dominante argileuse.

Une faille inverse majeure orientée N100°E à N140°E représente le contact entre les conglomérats cambriens et la formation briovérienne. Un linéament de direction voisine (N130°E), a été détecté par analyse photo-aérienne (rapport Bienvenu – Août 1993).

Il correspondrait au niveau de la zone d'étude au contact entre deux formations cambriennes distinctes : les conglomérats d'une part et les schistes et calcaires d'autre part. Par ailleurs, les conglomérats présentent de nombreuses fractures secondaires dirigées globalement N-S et E-O.

3- Contexte hydrogéologique

	Forage F1	Forage d'exploitation FE1
Année de réalisation	1992	1997
Débit spécifique (m ³ /h/m)	40	60
Transmissivité (m ² /s)	4,6.10 ⁻² (Après 20 min pompage) 7,8.10 ⁻² (Après 400 min pompage)	1,4.10 ⁻² (Après 41h pompage) 1,4.10 ⁻³ (Après 167h min pompage)
Débit de pompage d'essai (m ³ /h)	110	160
Emmagasinement		10 ⁻²
Débit d'exploitation préconisé (m ³ /h)		100

Le pompage d'essai au forage F1 montre la présence d'une limite d'alimentation (ruisseau du Val Québert ?), puis la présence d'une limite étanche, qui correspondrait à la séparation entre l'aquifère carbonaté et les conglomérats.

Le pompage d'essai au forage FE1 montre la présence deux limites étanches, la première a été identifiée dans le forage F1, et la deuxième correspondrait à la faille inverse de chevauchement qui sépare les conglomérats cambriens des siltites, grauwackes et grès fins du Briovérien.

Les circulations d'eau qui ont lieu dans l'aquifère carbonaté Cambrien peuvent se révéler abondantes et donner naissance à des sources de débordement. C'est le cas de la source « la Fontaine Bouillante », au pied de la route départementale n°6.

4- Problématique actuelle

Depuis la mise en exploitation du site de Fontaine Bouillante, sont apparues plusieurs nouvelles problématiques :

- Une interaction avec le ruisseau du Val Québert pouvant conduire jusqu'à l'assèchement lors de périodes à fort déficit pluviométrique. C'est pour cette raison qu'il a été décidé d'équiper le forage d'essai F1 d'une pompe permettant de soutenir le débit d'étiage du ruisseau. Cependant cette installation n'empêche pas des assèchements accidentels (défaut de fonctionnement de la pompe, défaillance de l'exploitant) qui ont conduit à des procès-verbaux de la part de la police de l'eau et une situation très conflictuelle avec certains riverains.
- Une dégradation qualitative brutale en 2012 avec l'apparition d'un cocktail de matières actives phytosanitaires nécessitant la mise en œuvre rapide d'un traitement provisoire (en passe de devenir définitif). Des traces d'atrazine avaient été identifiées à l'origine en 1992 mais n'avaient pas été confirmées en 1997. L'origine de ces molécules est très probablement agricole (utilisation sur le colza et le maïs) et le maître d'ouvrage doit mettre en œuvre un programme d'action sur la zone d'alimentation estimée à 250 ha. Le contexte économique et politique actuel ne facilite pas une approche raisonnée du problème.

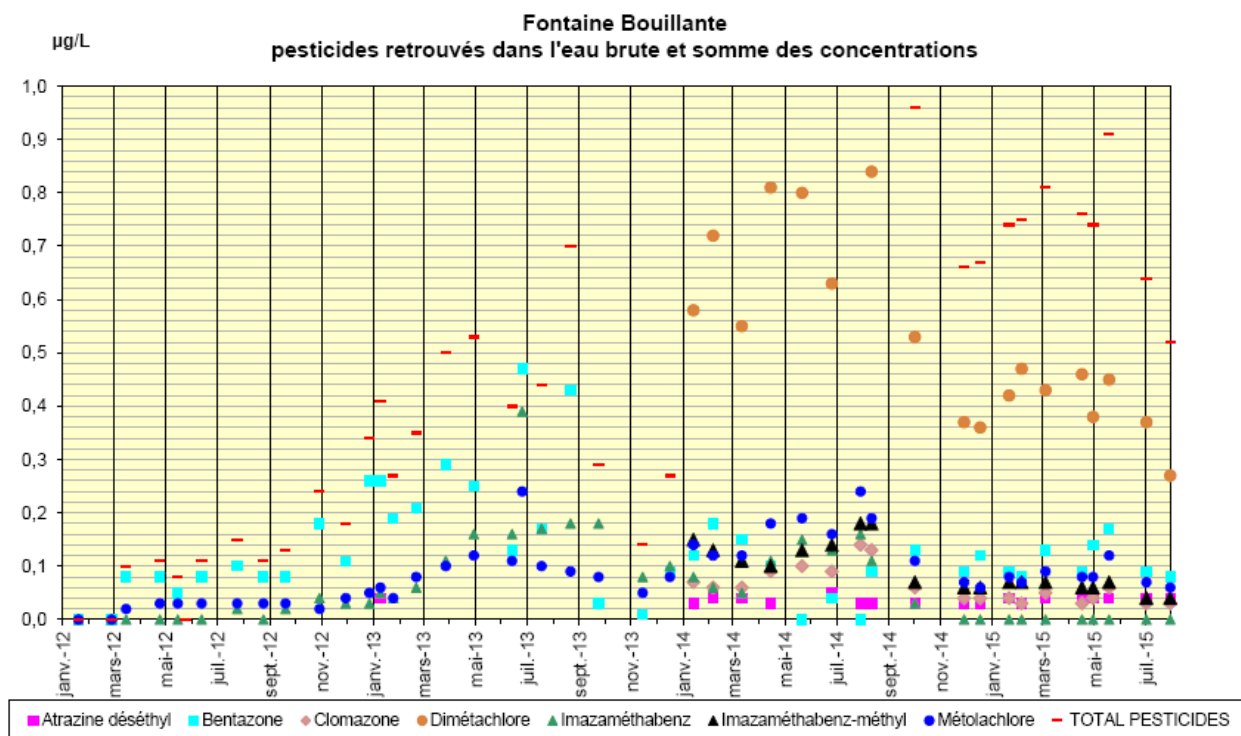


Figure 42 : Evolution des concentrations en substances phytosanitaires entre janvier 2012 et juillet 2015

La ressource de la Fontaine Bouillante (80 m³/h soit pratiquement 2000 m³/jour sur 24 heures de pompage en pointe estivale) est toutefois stratégique pour toute la région du Prébocage où aucune autre ressource de substitution n'a pu être identifiée.

RC

0145-7X-0015

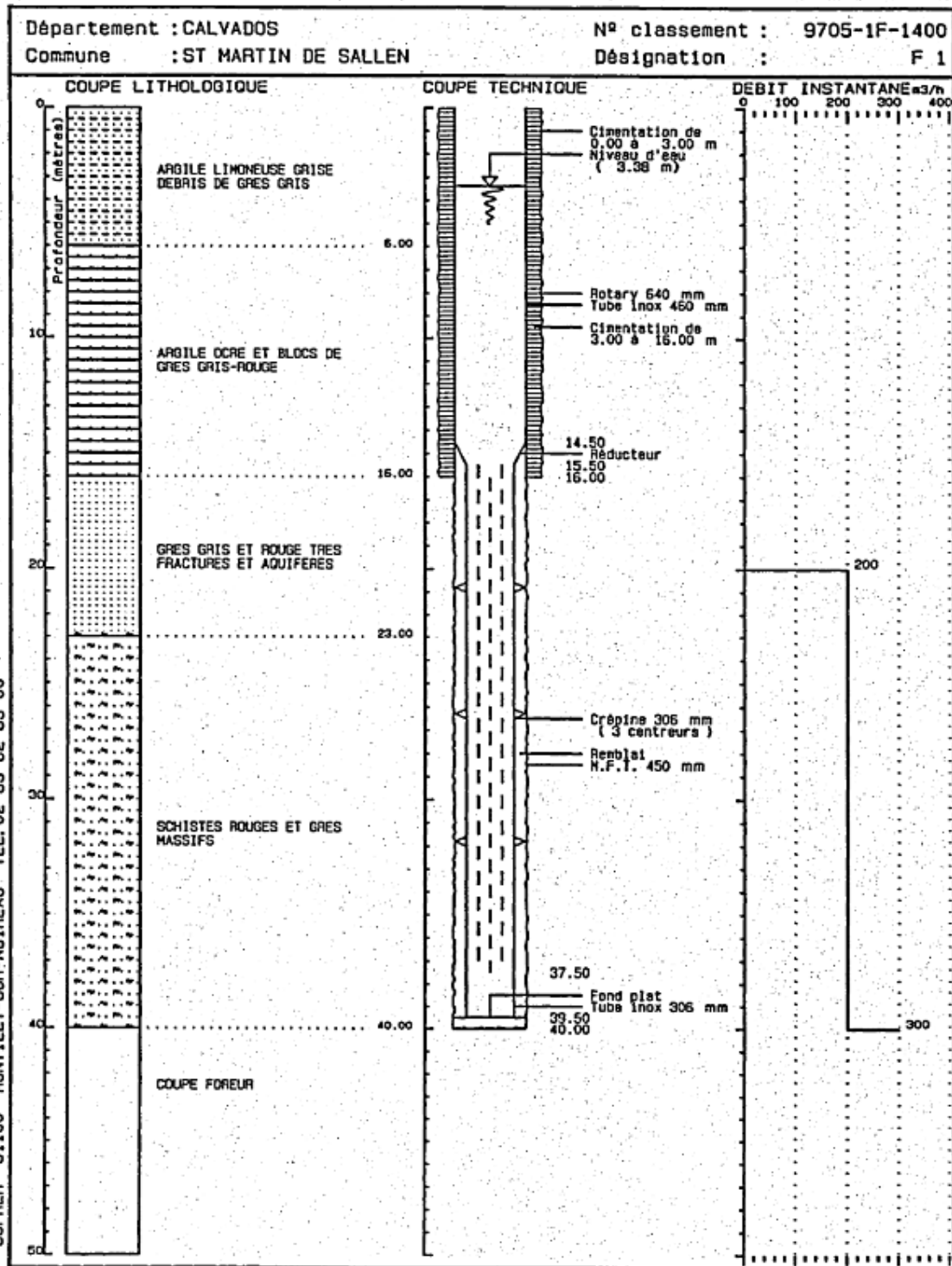


Figure 43 : Coupe géologique et technique du forage 01457X0015/FE1

Arrêt 9 : Curiosités géologiques sur la plage d'Omaha Beach

Intervenant (et rédacteur)	Renaud Couëffé, Géologue au BRGM
Heure du rendez-vous	11h
Lieu de rendez-vous	Devant l'école de char-à-voile
Accès au site	Suivre la direction de l'école de char-à-voile, Eolia

**Extrait du *Guide des curiosités géologiques des plages du débarquement en Normandie, 2014*,
Renaud Couëffé**

Nombreux sont les monuments commémorant la mémoire des nombreux soldats tombés sur la plage d'Omaha et les vestiges témoignant des terribles combats pour prendre position dans ce secteur de débarquement. Le seul secteur autorisant un débarquement et l'établissement d'une tête de pont à l'ouest de Bayeux et à l'est du secteur Utah.

Omaha, secteur le plus meurtrier des plages du débarquement

Quand à 6 h 30, la première vague d'assaut touche la plage, les troupes américaines, clouées sur place, sont littéralement décimées. La seconde vague, qui débarque à 7 h 00, ne connaît pas meilleur sort et subit de lourdes pertes. Vers 9 h 00, la première percée importante est effectuée, aboutissant à l'ouverture de deux brèches à 10 h 00, côté Saint-Laurent-sur-mer. Mais à quel prix ! A 10 h 30, 3 000 hommes sont couchés sur le sable de la plage qui portera désormais le nom d' « Omaha-la-Sanglante »... Les causes de cette hécatombe sont avant tout techniques et militaires. A n'en pas douter, le débarquement ne s'est ici pas déroulé comme prévu. Les chars amphibies ont coulé avant de toucher terre, les bombardiers ont raté leurs cibles, le courant a déporté les péniches de débarquement. Mais les causes sont aussi à rechercher dans le contexte morphologique singulier du site.

Le littoral d'Omaha, une configuration peu favorable au débarquement

Depuis le rebord de la falaise morte, Omaha apparaît comme une plage fermée nichée au cœur des hautes falaises calcaires du Bessin. Cette morphologie peu courante sur le littoral du Bessin fait d'Omaha la seule zone de débarquement possible dans le secteur. Mais aussi et surtout une zone facile à défendre, une zone où il est difficile de se mettre à couvert et de progresser... A basse mer, l'estran dévoile barres et bâches, véritables pièges pour les assaillants. Les barres sableuses rendent délicat l'accostage des barges de débarquement, provoquant leur immobilisation par échouage. Dès lors, les soldats lourdement chargés sont envoyés dans les eaux turbides de la Manche, ce qui s'avère dangereux. Les bâches leur font perdre pied et les noyés sont nombreux... Au-delà, le cordon dunaire ne peut protéger tous les soldats débarqués sur le vaste estran d'Omaha. Il isole une zone humide qui rend délicate la progression des soldats comme des blindés. Ce marais littoral s'étend sur quelques centaines de mètres jusqu'au pied d'une falaise morte nappée par des matériaux de piètre qualité pour le cheminement de véhicules. Pour preuve, ils sont encore souvent mobilisés dans des glissements de terrain...

5 Liste des figures

Figure 1 : Localisation des arrêts prévus lors de l'excursion	4
Figure 2 : Photo du sous-bassin de Marchésieux (Tribehou, Manche, France, 2014), cliché Alexandra LAURENT	4
Figure 3 : Les formations géologiques du Jurassique	5
Figure 4 : Localisation des synclinaux paléozoïques reconnus en bordure et sous la couverture jurassique de la plaine de Caen-Argentan. Le synclinal de Ranville n'est connu que d'après les sondages de reconnaissance minière (Couëffé, 2014).....	6
Figure 5 : Visualisation 3D, vers le sud, du modèle hydrogéologique des fleuves côtiers du Calvados (Wuilleumier et al., 2014).....	8
Figure 6 : Le réseau hydrométrique de la DREAL de la Basse-Normandie.....	9
Figure 7 : Les grands types de fonctionnement hydrologique rencontrés en Basse-Normandie – DREAL Basse-Normandie.....	10
Figure 8 : Coefficient de ruissellement moyen interannuel des bassins versants de Basse-Normandie.....	11
Figure 9 : La productivité hydrologique des zones humides de Basse-Normandie en étiage sec – DREAL Basse-Normandie.....	12
Figure 10 : Situation géographique et géologique des bassins de l'isthme du Cotentin	14
Figure 11 : Caractéristiques hydrogéologiques des bassins sédimentaires de la Manche (PP : Plio-pleistocène – M : Miocène).	17
Figure 12 : Colonne lithostratigraphique du secteur Sainteny-Marchésieux (Baize et al., 1997)	18
Figure 13 : Extension des faciès marneux (Marnes du Bosq d'Aubigny et Marnes de Saint-Nicolas-de-Pierrepont) et calcaires gréseux (Falun de Bohon) plio-pléistocènes, dans le bassin de Lessay et Sainteny-Marchésieux (Dugué O., 2000).....	19
Figure 14 : Résultats pour un contraste de densité de -0.9 g.cm^{-3} entre socle et sédiments. c) altitude inversée du fond du bassin.....	20
Figure 15 : Schéma de localisation des piézomètres sur le site de référence de Tribehou	20
Figure 16 : Suivi des niveaux piézométriques sur le site de référence de Tribehou	21
Figure 17 : Evolution du trait de côte de 1947 à 2010 en Normandie – Exemple dans le havre de Lessay (Manche)	26
Figure 18 : Extrait de l'atlas des mouvements de terrain dans le Bessin – DREAL Basse-Normandie	27
Figure 19 : Le glissement du Bouffay le long des côtes du Bessin (cliché DREAL).....	27
Figure 20 : Température moyenne annuelle en Basse-Normandie entre 1951 et 2010	28
Figure 21 : Territoire (en bleu) et bâtiments (en rouge) situés sous le niveau de la mer actuel en Basse-Normandie.....	30
Figure 22 : Géologie de l'unité hydrographique Aure – DREAL Basse-Normandie	32
Figure 23 : Profil en long des principaux cours d'eau de l'unité hydrographique Aure – DREAL Basse-Normandie.....	33
Figure 24 : Hydrogramme interannuel des principaux cours d'eau de l'unité hydrographique Aure – DREAL Basse-Normandie	33
Figure 25 : Chroniques piézométriques dans les aquifères de Basse-Normandie – Source : ADES.....	34
Figure 26 : Coupe géologique synthétique des falaises de Sainte-Honorine-des-Pertes.....	36
Figure 27 : Coupe géologique des quatre unités de l'oolithe ferrugineuse de Bayeux.....	38

Figure 28 : Carte du réseau karstique (Equipe spéléologique d'Hérouville-St-Clair)	40
Figure 29 : Le karst de l'Aure (Lithothèque de Normandie)	41
Figure 30 : Extrait de la carte géologique de GrandCamp-Maisy (Fily et al., 1989)	42
Figure 31 : Passage de la formation des Blancs bleus au calcaire de Caen (sur carotte et en imagerie de parois).....	45
Figure 32 : Passage de la pierre de Caen au calcaire de Creully, douves du Château de Caen (Cliché T. Gaillard)	46
Figure 33 : Corrélation entre le Bessin et la région de Caen	47
Figure 34 : Modèles conceptuels de l'aquifère Caen-Creully	48
Figure 35 : Comparaison des approches analytiques et systémiques (inspiré de J. de Rosnay, 1975, Le Macroscopie).....	48
Figure 36 : Vue de la discordance « historique » dans la carrière de May-sur-Orne (lithothèque de Normandie).....	50
Figure 37 : Coupe de Bigot (1913)	51
Figure 38 : Coupe du synclinal d'Urville – May-sur-Orne (Lithothèque de Normandie).....	51
Figure 39 : Coupe de Laize-la-Ville (Lithothèque de Normandie)	52
Figure 40 : Vue de la surface de discordance depuis le talus routier (Cliché T. Gaillard)	52
Figure 41 : Synthèse géologique du secteur de Fontaine Bouillante (Calligée, 2007)	54
Figure 42 : Evolution des concentrations en substances phytosanitaires entre janvier 2012 et juillet 2015... 56	
Figure 43 : Coupe géologique et technique du forage 01457X0015/FE1.....	57

6 Bibliographie

ARNAUD L., BALTASSAT J-M. (2009). Potentiel aquifère du sous-bassin de Marchésieux (Manche). Avis du BRGM. Rapport BRGM/RP-57337-FR, 39p.

ASSOCIATION DU PATRIMOINE GEOLOGIQUE DE NORMANDIE (2010). Fiche de l'inventaire du patrimoine géologique (IPGN), Système karstique des pertes de l'Aure. Site BNO0332. DREAL Basse-Normandie. 9p. [En ligne], disponible sur l'espace cartographique de la DREAL, CARMEN Basse-Normandie.

ASSOCIATION DU PATRIMOINE GEOLOGIQUE DE NORMANDIE (2010). Fiche de l'inventaire du patrimoine géologique (IPGN), Double discordance de May-sur-Orne. Site BNO0309. DREAL Basse-Normandie. 9p. [En ligne], disponible sur l'espace cartographique de la DREAL, CARMEN Basse-Normandie.

AUTERIVES C. (2007). Influence des flux d'eau souterraine entre une zone humide superficielle et un aquifère profond sur le fonctionnement hydrochimiques des tourbières : exemple des marais du Cotentin. Thèse d'Université, Rennes 1, 236 p.+ annexes.

BAIZE S. (1998). Climat, tectonique et eustatisme dans un système géomorphologique côtier, l'exemple du Cotentin. Thèse d'Université, Caen, 333 p.+ annexes.

BIGOT A. (1913). La Basse-Normandie (Etude de géographie physique), Col. Revue de géographie annuelle, T.VII, 1913, Fasc.III

BIGOT A. (1950). Hydrogéologie du Calvados. Bull serv. Carte géol. France (Paris), XLVIII, n° 230, 85 p.

BRGM (1997). Reconnaissance par géophysique d'un réseau karstique à Port-en-Bessin (Calvados). Rapport RP-39821-FR.

CALLIGEE (2007). Étude agro-environnementale préalable à la mise en place des périmètres de protection et étude d'incidence au titre de la Loi sur l'Eau - Forage de Fontaine Bouillante - Commune de Saint-Martin-de-Sallen (Calvados). RAPPORT Calligée - Conseil Départemental du Calvados.

COUËFFE R. (2014). Guide des curiosités géologiques des plages du Débarquement en Normandie. Brgméditations. Orléans : BRGM. Conseil général du Calvados. 115p.

DDAF 50 (1986) : Recherche hydrogéologique dans la région de Marchésieux. Programme départemental 1985-1986. – 31 p.+annexes

DDAF 50 (1987). Recherche hydrogéologique dans la région de Sainteny. Programme départemental 1986-1987. – Rapport 87/DDAF/3/HYD – 30 p. + annexes.

DDAF 50 (2007). Etude hydrogéologique complémentaire dans le sous-bassin de Marchésieux – Phase 1 - Pré-étude. Historique, synthèse hydrogéologique et propositions d'études et de travaux pour 2008-2010. Rapport 2007/DDAF/4/HYD – 53 p. + annexes.

DE RIDDER J. (2012). Réponse d'une tourbière soumise à des fluctuations du niveau d'eau. Thèse d'université, Rennes 1 Géosciences, 204 p. + annexes.

DUGUE O., FILY G., RIOULT M. (1998). Le Jurassique des Côtes du Calvados. Biostratigraphie, sédimentologie, paléocéologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle. Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre, Tome 85, Fascicule 2, 132 p.

DUGUE O., POUPINET N., BAIZE S., AUFFRET J.-P., COUTARD J.-P., OZOUF J.C., CLET-PELLERIN M., (2003). Stratigraphie du Plio-Pléistocène de Normandie (France) : les séries marines et fluviatiles du bassin de Carentan-Sainteny. Journal Géologie de la France 3: 99-125

EUDES-DESLONGCHAMPS J.-A. (1838). Note relative à l'effet des hautes marées mensuelles, lors des grandes sécheresses, sur les puits situés au voisinage de la plage maritime de Luc, au hameau dit Le Petit-Enfer. Mém. Soc. linn. Normandie, VI, 1834 à 1838 (1838) : 300-302.

FILY G., COUTARD J.P., RIOULT M., AUFFRET J.P., LARSONNEUR C., DE LA QUERIERE P., 1989. Carte géol. France (1/50 000), feuille Grand Camp Maisy (95). Orléans : BRGM.

FRESLON M., LOYANT D. (1999). Les bassins sédimentaires néogènes et quaternaires de l'isthme du Cotentin. Revue officielle de l'Union française des géologues. Numéro 121-ISSN 0016.7916, 90-93.

GAILLARD T., PAY T. (2013). Le thallium dans les eaux souterraines : cas du Bajocien du Calvados. Géologue n°79 ; pp 79-82

LAURENT A., FRESLON M., GRESSELIN F. (2015) - Les aquifères de socle en Basse-Normandie. Actes du colloque « Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles. » 20èmes Journées techniques du Comité français d'hydrogéologie de l'association internationale des hydrogéologues.

LAURENT A., N'GOM M., DUGUE O. (2014). Amélioration de la connaissance géologique et hydrogéologique du sous-bassin de Marchésieux – Phase 1 Exploitation des données existantes. Rapport BRGM/RP-62855-FR.

LE BIDEAU L. (2014) : SYMPEC – Bassin de Sainteny-Marchésieux – Réactualisation du modèle mathématique. Rapport d'étude TERRE et HABITAT R- 1295. 55 p.

LITHOTHEQUE DE NORMANDIE [en ligne], disponible sur <http://www.etab.ac-caen.fr/discip/geologie/>

PAREYN C. (1980) : Mise en évidence d'une néotectonique pliocène et quaternaire dans le Cotentin, le bassin de Carentan et le Bessin. Bull. SGF, 7, XXII, n° 4, 695-701.

PAREYN C. (1987). Sédiments marins néogènes et pléistocène de Normandie. 10 ans d'exploration sous les marais du Cotentin. Bulletin du Centre de Géomorphologie CNRS de Caen, n°32, p. 127-159 (travaux du groupe Seine n°3, juin 1987).

PARRON V. (1993). Contribution à la synthèse des données hydrogéologiques du sous-bassin de Sainteny. Mémoire de DESS, Université de Grenoble I, DDAF50, 80 p. + annexes.

RIOULT M., COUTARD J.-P., de LA QUERIERE P., HELLUIN M., LARSONNEUR C., PELLERIN J. (1989). Carte géol. France (1/50 000), feuille Caen (120). Orléans : BRGM. Notice explicative par M. Rioult et al. (1989), 104 p.

SAFEGE (2013). Etude de l'origine du thallium dans les eaux souterraines et les réseaux du SPEP, Phase 2 : campagne de mesures, Rapport septembre 2013, 63 p. + annexes.

SOGREAH (2001). SYMPEC-DDAF 50 - Fourniture d'un outil d'aide à la décision avec calage du modèle hydrodynamique en régime permanent et en régime transitoire. Synthèse des données modélisation mathématique. Rapport 110159.R4-101 p. + annexes.

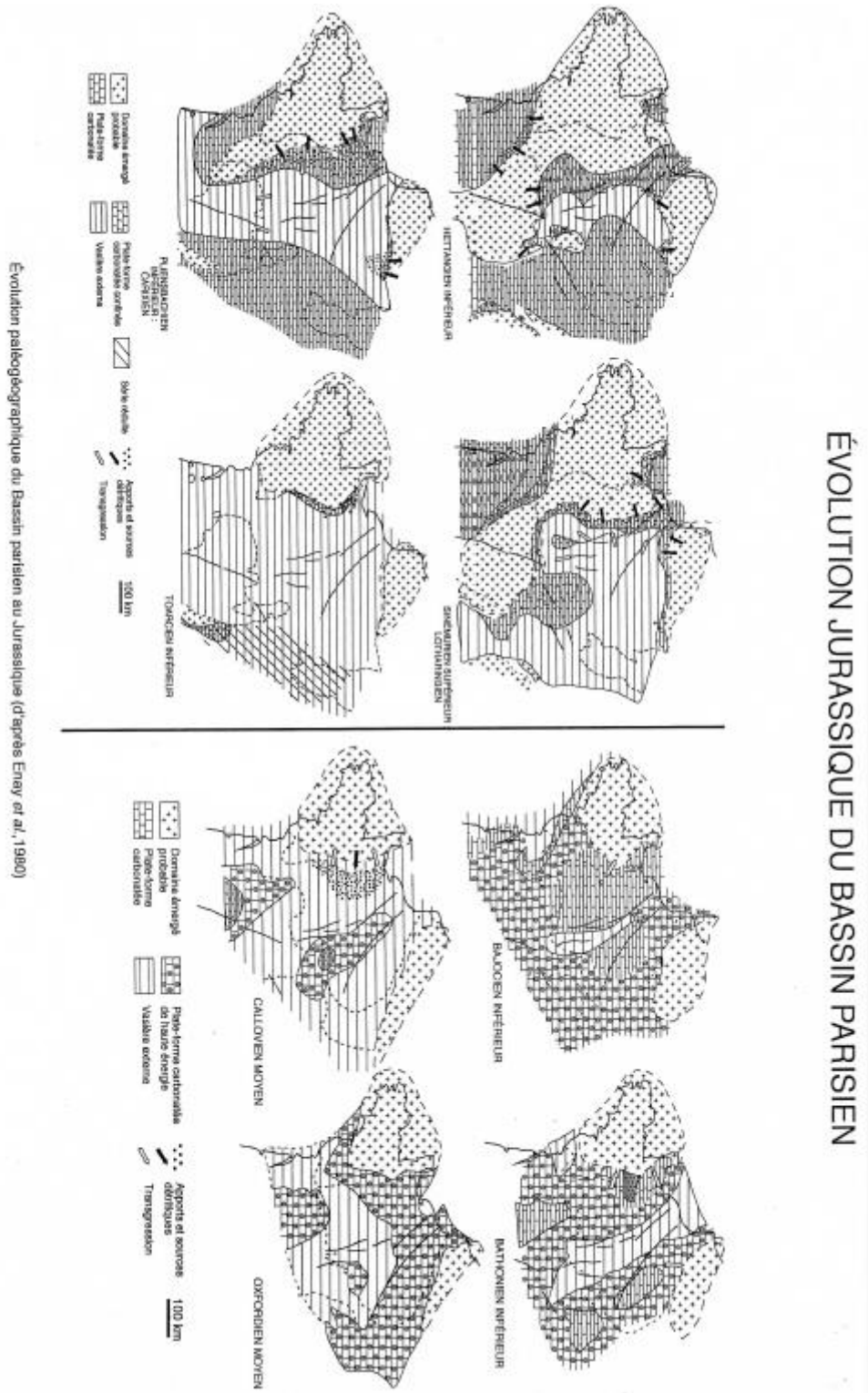
TERRE et HABITAT – L. LE BIDEAU (2014) : SYMPEC – Bassin de Sainteny-Marchésieux – Réactualisation du modèle mathématique. Rapport d'étude R- 1295. 55 p.

VERNOUX J.F., DEROIN J.P., LEBRET P., PETIT V., SIEGEL P., 2000, Ressources en eau souterraine de l'Isthme du Cotentin – Synthèse des connaissances. Rapport BRGM RR40824, 136p.

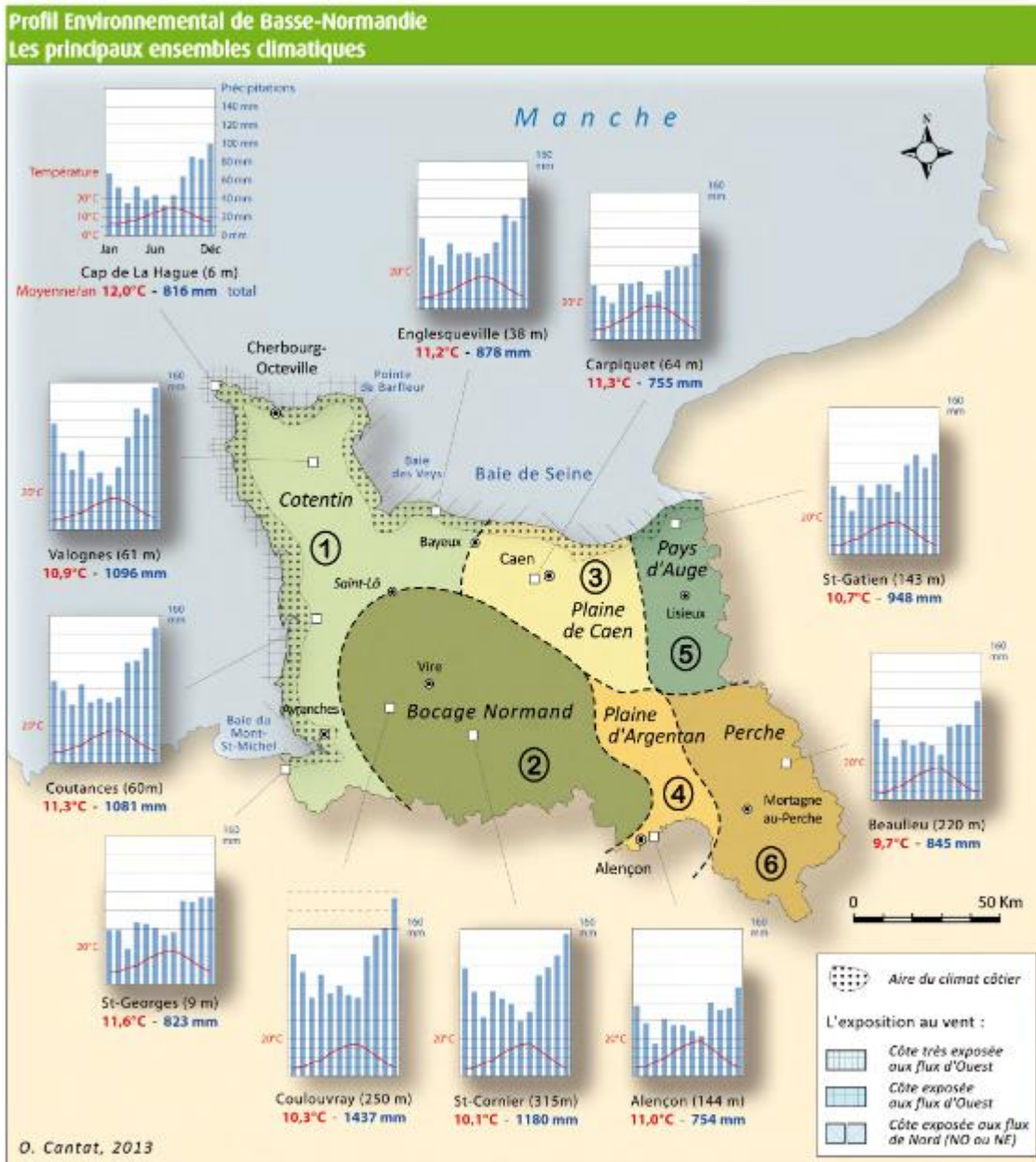
WUILLEUMIER A., CROISET N., ALLANIC, C., BOURGAULT C., GRESSELIN F. (2014). Un modèle hydrogéologique pour une gestion durable des ressources en eaux souterraines et superficielles du Calvados. Revue Géologues n°183. P100 à 105.

7 Annexes

Annexe 1 : Evolution jurassique du Bassin Parisien

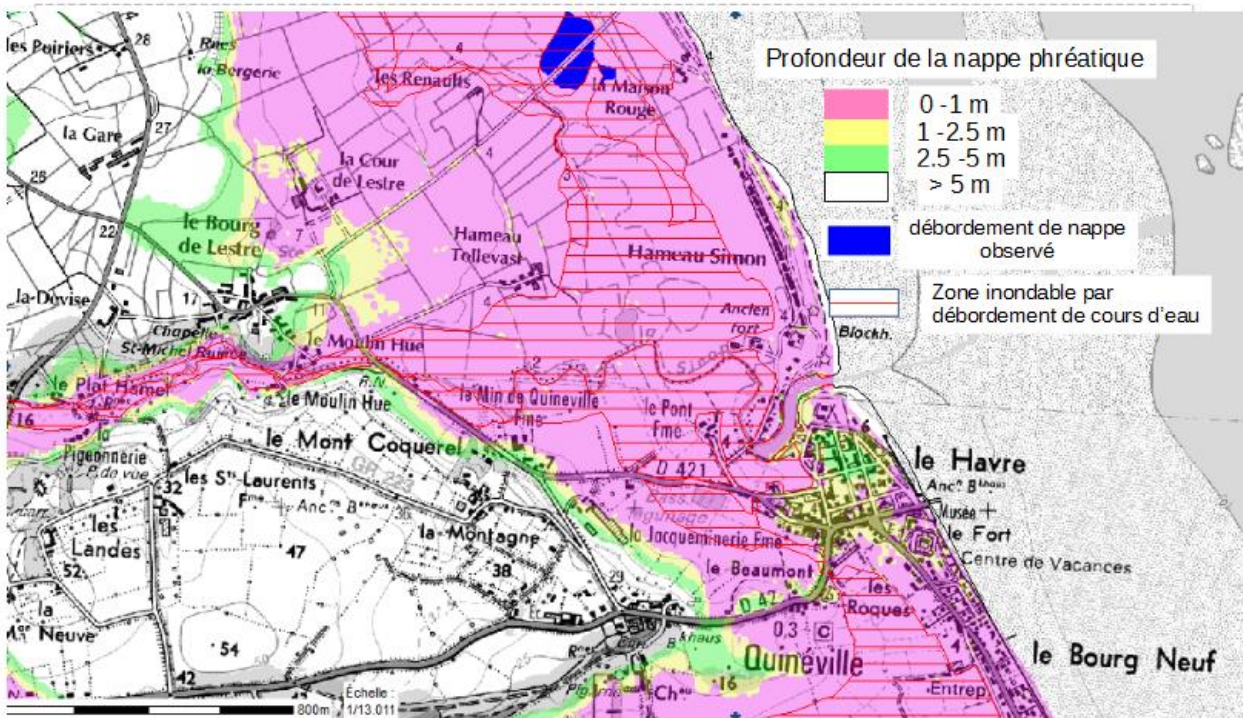


Annexe 2 : Les principaux ensembles climatiques de Basse-Normandie



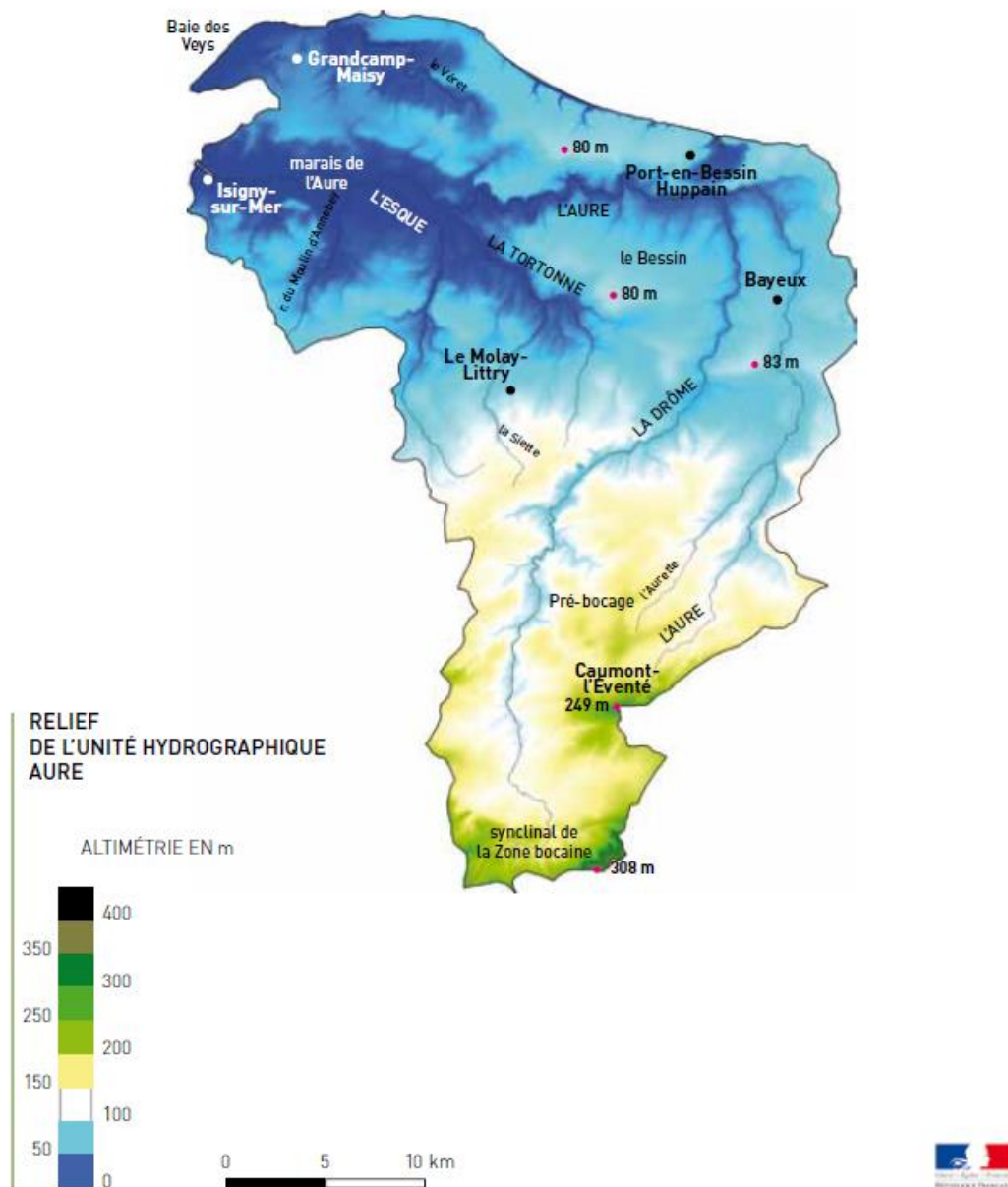
Carte de synthèse réalisée pour le Profil environnemental de Basse-Normandie d'après les cartes de l'Atlas de Normandie (1970), de la thèse de Gisèle Escourrou (1978) et du traitement de données Météo-France sur la période 1991-2000 pour les diagrammes ombro-thermiques (Olivier Cantat, 2013)

Annexe 3 : Cartographie des risques littoraux (DREAL Basse-Normandie)

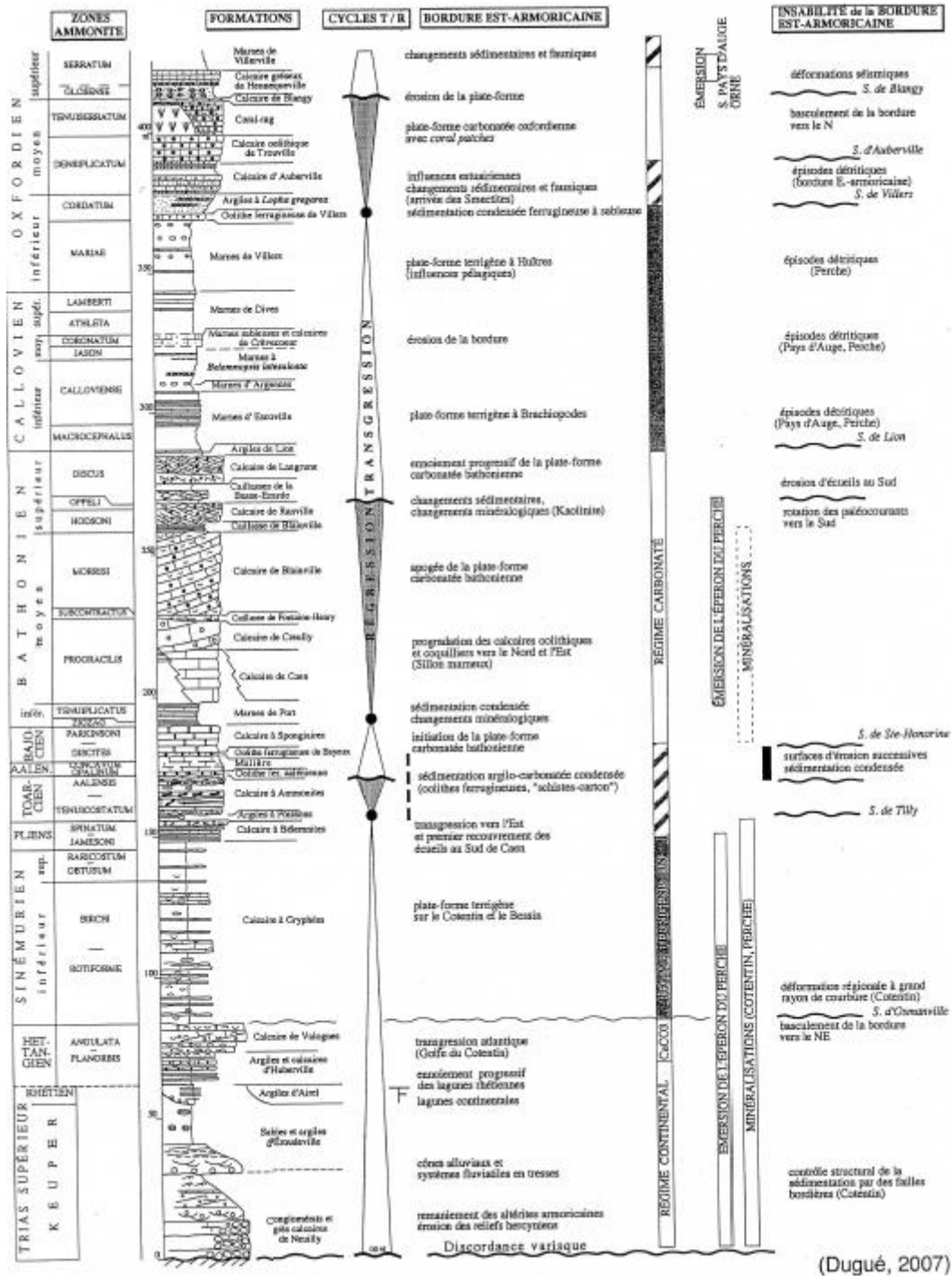


La cartographie des risques littoraux (DREAL).
Un exemple à Quinéville (côte est de la Manche)

Annexe 4 : Relief de l'unité hydrographique Aure – DREAL Basse-Normandie



Annexe 5 : Coupe géologique de la série triasique et jurassique normande



8 Programme et informations pratiques

8.1 Programme de l'excursion

VENDREDI 2 OCTOBRE

12h – Pique-nique de rassemblement à l'hébergement à Bayeux (<http://www.moulin-morin.com/>)

13h15 : Départ du lieu d'hébergement

Arrêt 1 : 14h-16h30

Marais du Cotentin et du Bessin, bassin de Sainteny-Marchésieux à Graignes,

- Présentation du bassin sédimentaire et des zones humides, différentes approches de recherche pour comprendre le fonctionnement hydrogéologique (variations lithologiques, relations nappes-rivières)
- Présentation des activités anthropiques sur le secteur et de l'impact des portes-à-flot, de la protection de la ressource en eau

Maurice FRESLON (DDTM Manche), Jonathan THIERY-COLLET (Parc naturel régional des marais du Cotentin et du Bessin), Mickael HAMEL (Syndicat départemental de la Manche), BRGM

Arrêt 2 : 16h30 – 19h

Pointe du Hoc – depuis le belvédère présentation des relations nappes-rivières dans l'aquifère bajo-bathonien, exposé sur l'érosion du littoral et des marais littoraux dans le contexte de changement climatique
Frédéric GRESSELIN (DREAL Basse-Normandie)

19h : Retour au lieu d'hébergement (plage/piscine ou cheminée !)

20h30 : Repas

SAMEDI 3 OCTOBRE

08h15 : départ du lieu d'hébergement

Arrêt 3 : 08h30 – 10h

Stratotype du Bajocien à Sainte-Honorine-des-Pertes

Présentation du stratotype du Bajocien (formation des Calcaires du Bajocien, mais aussi des marnes de Port-en-Bessin et des calcaires de Saint-Pierre-du-Mont)

Olivier DUGUE, Université de Caen

Arrêt 4 : 10h – 11h

Résurgences karstiques sur le platier rocheux de Port-en-Bessin (marée basse à 9h30 à Arromanches)

Présentation du système karstique de l'Aure, et du fonctionnement de l'aquifère multicouches du Bajo-Bathonien

Arrêt 5 : 11h – 12h30

Pertes de l'Aure (les fosses Soucy), suite de l'exposé sur le réseau karstique de l'Aure

Laurent DUJARDIN et Jean-Louis RIBOT (Association des spéléologues d'Hérouville-Saint-Clair)

Arrêt 6 : 13 h : Pique-nique au château de Caen

Le passage calcaire de Caen calcaire de Creully

La représentation hydrogéologique de l'aquifère du Bathonien

Thierry GAILLARD, Safège

Arrêt 7 : 15h – 16h30

Visite de la carrière Mathias, synclinal de May-sur-Orne (discordances) (Laize-la-Ville)

Thierry GAILLARD, Safège

Arrêt 8 : 16h30 – 18h : Val d'Orne

Visite du **captage de fontaine bouillante** (01457X0012) à Saint-Martin-de-Sallen, situé sur la rive gauche de l'Orne (Cambrien, Q=90 m³/h), présentation de la problématique de périmètre de protection, des aspects quantitatif et qualitatif et de protection de la ressource.

Thierry Pay, Conseil départemental du Calvados

19h : Retour à l'hébergement

DIMANCHE 4 OCTOBRE matin

08h30 : Départ hébergement

09h – 11h : **Char à voile** à Colleville-sur-mer (Omaha Beach)

Activité maintenue si au minimum 24 personnes

11h – 12h : Colleville-sur-mer

Présentation du guide des **curiosités géologiques des plages du débarquement** (zoom sur Omaha Beach)

Renaud Couëffé, BRGM

12h30 : Pique-nique sur la plage

12h : Pique-nique sur la plage

Fin du week-end

Suggestions pour finir votre week-end en Normandie :

- Le mémorial de Caen
- La tapisserie de Bayeux
- Les plages du débarquement (port artificiel d'Arromanches-les-Bains, cimetière américain de Colleville)
- Etc.

8.2 Hébergement

En venant de la sortie 38, D613, dans Vaucelles, tourner à droite après l'église (rue de l'Eglise, très étroite le long du mur du cimetière), puis aussitôt virage à angle droit à gauche. Parcourir 500 m, le Moulin se trouve en bas du chemin, indiqué sur votre droite.

Adresse géographique :

Impasse du Moulin Morin
14440 Vaucelles

Coordonnées GPS :

Ouest 0°44'05"

Nord 49°16'52"

